

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

LIBEREC 2012

Mária Kapičáková

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Katedra Oděvnictví

Studijní program: M3106 Textilní inženýrství

Studijní obor: 3106T005 Oděvní technologie

Testování elektricky vodivých textilních struktur

Testing of electrically conductive textile structure

Mária Kapičáková

KOD/2012/06/21MS

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petra Komárková

Rozsah práce:83

Počet stran textu: 50

Počet obrázků: 32

Počet tabulek: 1

Počet grafů: 14

Počet stran příloh: 16

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Mária KAPIČÁKOVÁ**
Studijní program: **M3106 Textilní inženýrství**
Studijní obor: **Oděvní technologie**
Název tématu: **Testování elektricky vodivých struktur**
Zadávací katedra: **Katedra oděvnictví**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Proveďte rešerši zaměřenou na vodivé textilní struktury, kde jsou vodivé dráhy tvořeny metodou strojového šití a vyšívání nebo metodou tisku vodivé pasty. Dále se zaměřte na možnosti měření elektrických vlastností těchto vodivých drah.
2. Popište problematiku změny elektrických vlastností vodivých textilních struktur, definovaných v bodě 1, při jejich používání, např. při nošení oděvů obsahujících tyto struktury apod.
3. Navrhněte a realizujte experiment pro zjišťování změny elektrických vlastností výše zmiňovaných vodivých textilních struktur během jejich používání. Při sestavování experimentu maximálně využívejte přístrojové vybavení katedry oděvnictví.
4. Výsledky získané z experimentu vyhodnoťte a formulujte vyplývající závěry.

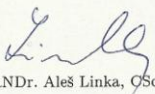
Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy: cca 50 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:


- Komárková, P. Glombíková, V. Halasová, A. Electrical conductive printed layers onto fabric. STRUTEX 2006. TU Liberec 2006. ISBN80-7372-135-X
- Glombíková V. Komárková P. The electrical conductive textile structure. 6th International Conference TEXCI 2007. TU Liberec, Česká Republika, ISBN 978-80-7372-207-4, 2007
- Současný stav v oboru inteligentních a interaktivních textilií, dostupné z: URL: <http://www.mateo.ntc.zcu.cz/doc/Stav.doc> (Citováno: 27.10.2009)
- Smart textile, dostupné z: URL: <http://www.ptj.com.pk/Web%202004/08-2004/Smart%20Textiles.html> (Citováno: 27.10.2009)
- Meoli, D.: Interactive electronic textiles: technologies, applications, opportunities, and market potential, Graduate Faculty of North Carolina State. Dostupné z: URL: <http://www.lib.ncsu.edu/theses/available/etd-05212002-104138/unrestricted/etd.pdf> (citováno: 27.10.2009)

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petra Komárková, Ph.D.
Katedra oděvnictví

Datum zadání diplomové práce: 27. října 2009
Termín odevzdání diplomové práce: 3. května 2010


prof. RNDr. Aleš Linka, CSc.
děkan




doc. Ing. Antonín Hlavotka, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 27. října 2009

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Jméno: Mária Kapičáková
Datum narození: 24.7.1986
Adresa: 029 63, Mutné 269

Osobní číslo: T05000056
Ročník: V.
Studijní program: Textilní inženýrství
Studijní obor: Textilní a oděvní technologie

ŽÁDOST

o prodloužení termínu odevzdání diplomové práce do května 2012.

Název: Testování elektricky vodivých textilních struktur.

Vedoucí práce: Ing. Petra Komárková, Ph.D.

.....
Podpis studenta

Souhlas vedoucího diplomové práce:

.....
Podpis

Souhlas vedoucího katedry:

.....
Podpis

V Liberci dne: 15.6.2012

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ
Katedra oděvnictví

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Pod'akovanie

Touto cestou by som rada pod'akovala Ing, Petre Komárkovej, Ph.D. za vedenie tejto diplomovej práce a za cenné rady a pripomienky, ktoré mi poskytla pri konzultáciách. Ďalej by som chcela pod'akovať Ing. Jiřímu Kubínovi, Ph.D. za pomoc pri elektrických meraniach. V neposlednej rade doc. Ing. Jakubovi Wienerovi, Ph.D. za pomoc pri realizácii skúšky v pote. A tiež mojej rodine za podporu po celú dobu štúdia.

Anotácia

Diplomová práca sa zaoberá vplyvom potu na elektricky vodivé textilné štruktúry. Konkrétne na textilné vodivé štruktúry tvorené metódou šitia a vyšívania. Tieto štruktúry sa používajú v elektronických textíliách.

Teoretická časť je venovaná prehľadu použitia, možnostiam merania elektrických vlastností a vplyvom teploty a vlhkosti na vodivé textilné štruktúry.

Praktická časť sa skladá z dvoch experimentov. V prvom je navrhnutá izolácia vodivých dráh a následne je testovaná. V druhom experimente boli testované súbežné vodivé dráhy v pote pod jednosmerným napätím, pri rôznych vzájomných vzdialenostiach a na rôznych podkladových materiáloch.

Kľúčové slová

Inteligentné textílie, vodivé dráhy, elektrický odpor, vplyv potu

Annotation

This thesis is focused on the influence of sweat on an electric conductive textile structure. It specifically looks at the conductive textile structures formed by the method of sewing and embroidery. These structures are used in electronic textiles.

Theoretical part is devoted to an overview of their use, the possibilities of measuring their electrical properties and the influence of temperature and moisture.

The practical part consists of two experiments. In the first, the isolation of conductive pathways is designed and tested. Second part focuses on testing in parallel conductive pathways in sweat under a DC voltage at different distances from each other and on various substrate materials.

Keywords:

Smart fabrics, conductive tracks, electric resistance, the effect of sweat

Obsah:

Zoznam použitých skratiek a symbolov	10
Úvod	12
1 Teoretická časť	13
1.1 Inteligentné textílie	13
1.2 Vodivé vlákna	14
1.2.1 Vodivé polymérne vlákna	14
1.2.2 Kovové vlákna	15
1.2.3 Uhlíkové vlákna	15
1.3 Vodivé štruktúry tvorené metódou šitia a vyšívania	16
1.3.1 Senzory	17
1.3.2 Ovládacie prvky	21
1.3.3 Akumulácia, uskladnenie, zásobníky	22
1.3.4 Komunikácia	22
1.4 Možnosti merania elektrických vlastností vodivých dráh	23
1.4.1 Meranie elektrického odporu voltmetrom a ampérmetrom	24
1.4.2 Meranie elektrického odporu ohmmetrom	25
1.5 Zmeny el. vlastností vodivých textilných štruktúr pri ich používaní	27
1.5.1 Kondukcia – prenos tepla vedením	27
1.5.2 Konvencia – prenos tepla prúdením	28
1.5.3 Radiácia – prenos tepla žiarením	29
1.5.4 Odvod plynnej vlhkosti z povrchu tela	30
1.5.5 Odvod kvapalnej vlhkosti z povrchu tela	30
2 Experimentálna časť:	33
Použité materiály	33
2.1 Tvorba izolačnej vrstvy vodivej nite	35

2.1.1	Zhodnotenie nánosov pred skúškou v pote.....	35
2.1.2	Skúška izolačných vlastností	37
2.1.3	Zhodnotenie	39
2.2	Skúška vplyvu jednosmerného prúdu na vodivé nite v pote	41
2.2.1	Elektrický odpor vodivej nite.....	41
2.2.2	Realizácia skúšky v pote.....	44
2.2.3	Zhodnotenie skúšky.....	44
2.2.4	Spôsob poškodenia vodivej nite.....	53
3	Záver.....	60

Zoznam použitých skratiek a symbolov

atď.	- a tak ďalej
C-	- kapacita
C	- coulomb
°C	- stupeň celzia
CAD	- computer add system
č.	- číslo
d	- priemer
EKG	- elektrokardiogram
EMG	- elektromiogram
G	- gram
I	- prúd
kg	- kilogram
ln	- prirodzený logaritmus
L	- indukčnosť
l	- dĺžka
M Ω	- megaohm
m	- meter
Mhz	. megahertz
MIDI	- digitálne rozhranie pre hudobné nástroje
napr.	- napríklad
obr.	- obrázok
PIC -	- prior informed consent = súhlas na základe predbežnej informácie
Q	- teplo
R	- odpor
resp.	- respektíve

V	- objem
t	- čas
U	- napätie
W	- wat
Ω	- ohm
π	- Ludolfovo číslo
μm	- mikrometer

Úvod

Už v dávnoteke sa ľudia snažili zvýšiť si svoj komfort využitím zvieracích koží. Vtedy odev plnil hlavne ochrannú funkciu pred chladom a nepriaznivými vplyvmi. Ďalší vývoj odevu úzko súvisí s rozvojom ľudskej spoločnosti. Nezanedbateľný je i vplyv módy a osobného vkusu. Vo výrobe bol ovplyvňovaný rozvojom oblastí ako strojniectvo, chémia a automatizácia, kedy vznikali nové efektívnejšie postupy výroby s použitím nových materiálov. Od vzniku prvého odevu jeho vývoj značne pokročil. A v dnešnom pretechnizovanom svete bolo len otázkou času, kedy sa do odevu začne integrovať elektronika. Odev už neplní len ochrannú a estetickú funkciu.

Elektronika v odevu našla využitie v odvetviach ako armáda, šport, zdravotníctvo, ale aj v bežnom živote. Človeku umožňuje používať elektroniku bez obmedzovania pohybu a nutnosti prenášania ťažkých zariadení. Navyše ponúka možnosť využitia alternatívnych zdrojov energie. Preto budeme v budúcnosti napríklad môcť počúvať hudbu s využitím energie z chôdze, slnečnej energie, poprípade vlastným vyprodukovaným teplom. Vyvinutá už je napríklad aj čisto textilná batéria.

Nezanedbateľným prínosom je použitie v zdravotníctve a armáde. Tam je napríklad možnosť nepretržitého sledovania telesných funkcií veľmi prínosná a v mnohých prípadoch môže zachraňovať životy.

Už teraz sú tiež dokonca vyrábané textilné klávesnice, ktoré sa dajú jednoducho zrolovať, elektricky vyhrievané rukavice alebo bundy s mp3 prehrávačom. V budúcnosti si zas možno budeme môcť pozrieť film priamo na rukáve bundy. Do textílie budeme vkladať informácie, budeme si môcť nahrávať dôležité rozhovory a listovať v kalendári na rukáve.

Stále však nie je elektronika integrovaná do textílie do takej miery, aby mohla fungovať samostatne.

V experimentálnej časti sa pokúsime vytvoriť izoláciu oceľovej niti. Tá sa využíva k výrobe textilných vodivých štruktúr. Sú to štruktúry, ktorých veľkou výhodou je možnosť výroby na konfekčných šicích, prípadne vyšívacích strojoch. Vyžadujú si len minimálne úpravy konštrukcie.

V elektrotechnike majú všetky vodiče svoju pevnú izoláciu. Pre použitie v odevu je však nutné vyrobiť taký druh izolácie, ktorý zachová textilné vlastnosti nite.

Skúšky izolácie budeme vykonávať za pomoci prístrojového vybavenia Katedry odevníctva.

Teoretická časť

1.1 Inteligentné textílie

Inteligentné textílie sú textilné štruktúry z materiálov, ktoré sú citlivé na rôzne vonkajšie podnety a v závislosti na ich zmene sú schopné na ne reagovať. Do textílie sa napríklad zavádzajú rôzne mikroprocesory a senzory, ktoré umožňujú snímať okolie a s podporou mikroelektroniky na ne reagujú.

Počiatočný impulz môže byť napríklad tepelný, elektromagnetický, elektrický, chemický alebo mechanický. Na vláknoch ich vplyvom dochádza k vratným zmenám.

Inteligentné textílie rozdeľujeme na:

- Pasívne inteligentné textílie
- Aktívne inteligentné textílie.

Aktívne textílie majú okrem rozoznávacej a reakčnej funkcie aj funkciu regulačnú.

Prudko rastúci vývoj inteligentných textílií prináša so sebou stále nové požiadavky na funkciu vlákien. Príklad požadovaných funkcií vlákien používaných v inteligentných textíliách:

- odolnosť proti žiareniu, radiačný odpor, fotochrómia,
- absorpcia zvuku, izolácia proti vibráciám,.
- elektrická izolácia, elektrická vodivosť, piezoelektrické vlastnosti,
- vysoká pevnosť a modul v odere,
- vysoká absorpcia, odpudzovanie vody a olejov, paropriepustnosť,
- tepelná izolácia, termoelektrické vlastnosti, ohňovzdorné,
- zachytávanie prachu, priedušnosť vzduchu,
- absorpcia radiácie.[1]

Široké uplatnenie inteligentných textílií zahrňuje najmä použitie v zdravotníctve, kde sa využívajú hlavne na snímanie telesných funkcií. V oblasti športu to je zas najmä zaistenie komfortu. O vývoj inteligentných textílií sa vo veľkej miere zaslúžilo použitie v armáde. Postupne sa však objavujú stále nové a nové oblasti použitia.

1.2 Vodivé vlákna

Výsledné vlastnosti vodivých textilných štruktúr vo veľkej miere závisia na materiálovom zložení jednotlivých vlákien. Poznáme viacero druhov vlákien so zvýšenou vodivosťou. Používajú sa v nekonečnej ale aj strižovej dĺžke. Môžu byť vyrobené

- prípravou polyméru, s iontovými elektrónovými pármami, ich chemická štruktúra sama zaistuje zvýšenú vodivosť,
- povrchovým nánosom,
- pridaním vodivých častíc v podobe aditív,
- ako bikomponentné vlákna,
- ako uhlíkové vlákna, kovové vlákna. [2]

1.2.1 Vodivé polymérne vlákna

Polyméry v čistej forme väčšinou nie sú vodivé. Aby však došlo k zvýšeniu vodivosti, aspoň na úroveň anorganických polovodičov, stačí dopovanie pomocou oxidačných resp. redukčných látok. Výsledkom je zmena štruktúry. Vodivosť sa dá ďalej výrazne meniť, napr. pretiahnutím alebo pridaním rôznych dopantov.

Mimo iného, sa od kovov a polovodičov líšia závislosťou ich vodivosti na teplote. Pre kovy sa vodivosť znižuje úmerne s rastom teploty. Pre polovodiče naopak rastie exponenciálne s rastom teploty. A pre vodivosť polymérov σ_E zas platí vzťah

$$\ln \sigma_E \approx T^{-1/4}.$$

Príkladom vodivých polymérov sú polyacetylén, polyanilin, polythiofen, polypfénylénsulfid a polypyrrol.

Polyanilin a ďalšie vodivé polyméry sa kvôli nízkej pevnosti a ohybnosti často vyrábajú v kombinácii s inými vláknami (aramidmi, polyamidmi, atď.). Obyčajne to je

oxidačnou alebo **elektrochemickou povrchovou polymeráciou**. Dôležitý je vtedy vhodný výber dopantu a vlákna, na ktorý sa bude polymér nanášať.

Iným spôsobom zvyšovania vodivosti polymérov je **pridávanie vodivých častíc**. Tými môžu byť vodivé polyméry, častice kovov alebo uhlíková čerň. Hlavným nedostatkom je strata ich vodivosti vplyvom teploty a času. Prebieha to v dvoch fázach, vďaka termooxidácii. Najskôr do vodivej vrstvy preniká kyslík a potom reaguje s polymérnym reťazcom. Jav je nepríjemný najmä pri využití týchto textílií v odporových vyhrievacích elementoch.[3]

1.2.2 Kovové vlákna

Použitie kovových vlákien v textilných vodivých štruktúrach je, vzhľadom k ich veľmi dobrým elektrickým vlastnostiam, a takisto nízkej cene, veľmi výhodné. Väčšinou sa vyskytujú vo forme tenkých drôťkov. Spracovanie do textilných štruktúr je obmedzené ich vysokou plastickou deformáciou.

Z krehkých kovov sú vyrábané technikou ťahania za tepla, kedy sa volí teplota nad teplotou kryštalizácie. Pre kujné kovy sa používa tiahnutie za studena. Tento proces zároveň zvyšuje ich pevnosť a znižuje kujnosť. Menšie priemery drôťkov sa vyrábajú tzv. Tailerovým procesom. Ide o obalenie kovového drôťka sklom a jeho pretáhovanie za tepla. To musí prebiehať pri teplote, kedy je sklo zmäknuté a kov vo vnútri je plastický alebo roztavený.[3]

Kovové vlákna bývajú vyrobené zo zliatin železa, niklu, nerezovej ocele, titánu, medi, atď..

1.2.3 Uhlíkové vlákna

Uhlíkové vlákna sú tvorené vlákninovým uhlíkovým materiálom, s minimálne 90% obsahom uhlíka. S obľubou sa využívajú kvôli ich výborným vlastnostiam, ktoré sa u iných vlákien neobjavujú. Napríklad pevnosť, elektrická vodivosť, nízka hustota, nízky koeficient tepelnej rozťažnosti a odolnosť voči prehrievaniu. Používajú sa ako sorpčné materiály, katalyzátory, spevňujúce materiály v kompozitoch a iné. Vďaka nízkemu priemeru 5-7 μm sa dajú spracovávať tradičnými textilnými technikami. Rôznymi spôsobmi výroby sa získavajú vlákna z rôznorodými vlastnosťami. Takto sa

dá ovládať aj veľkosť ich elektrického odporu. Vo všeobecnosti je ovládaný tromi základnými spôsobmi:

- teplotným režimom počas formovania vlákien, vrátane povrchového tepelného ošetrovania,
- vyrovnávaním pri preťahovaní vlákien počas formovania a počas karbonizácie,
- pridaním chemických prvkov a funkčných skupín do štruktúry pôvodného surového materiálu alebo do uhlíkových vlákien. [3]

Vodivé nite môžu byť buď čisto z vodivých vlákien alebo sa kombinujú s nevodivými vláknami. Môže to byť počas rôzneho stupňa výroby nite (pri drúžení, skaní,).

1.3 Vodivé štruktúry tvorené metódou šitia a vyšívania

Vyšívanie a šitie sú bežnými výrobnými procesmi v odevnom odvetví. Odev spájajú a zdobia. V oblasti inteligentných textílií má ich použitie výhodu napríklad v možnosti vytvárať vodivé dráhy v rôznych smeroch. U tkaných a pletených elektrických obvodov je totiž nutné dráhu obvodu prispôbiť smeru osnovy a útku (eventuálne riadka a stĺpca). Tkané obvody, sú navyše náročnejšie na predprípravu výroby, kedy sa osnovné nite obtáčajú vodivými niťami. Výhodou vyšívania je aj možnosť numerického riadenia tvorby dráhy. [4]

Kvalitu výslednej vodivej textilnej štruktúry značne ovplyvňuje správny výber vodivej nite. Potrebné je nájsť kompromis medzi jej elektrickými a mechanickými vlastnosťami. U tvorby štruktúry šitím a vyšívaním je to o to náročnejšie, že sú to procesy, u ktorých sú na dobré mechanické vlastnosti vodivej nite kladené oproti ostatným výrobným procesom náročnejšie požiadavky. Niť je totiž pri tvorbe stehu namáhaná pomerne vysokým napätím a trením, a to navyše pri vysokých rýchlostiach stroja. Pritom nesmie dôjsť k prietrhu nite ako takej a ani jej elektrickej kontinuity. Niť musí byť teda dostatočne pevná a pružná, ale i dostatočne vodivá.

Oblasti využitia inteligentných textílií:

- senzory
- spracovanie dát
- ovládacie prvky
- akumulácia
- komunikácia. [1]

1.3.1 Senzory

Senzory snímajú signály a menia ich na iný typ, ďalej spracovaný buď človekom alebo počítačom. Nevyhnutné je tu použitie elektrovodivých materiálov. Signály sa totiž väčšinou transformujú do elektrických impulzov. [1]

1.3.1.1 Klávesnica s kapacitnými čidlami

Z oblasti senzorov bola využitím vyšívanej technológie vytvorená napríklad klávesnica s kapacitnými čidlami z výskumného ústavu MIT Media Lab. Výsledkom je klávesnica, ktorá je ohybná, trvanlivá, s reakciou len na dotyk.

Technika snímania kapacity sa u klávesnice využíva kvôli vysokej impedancii vyšitých elektród. Pre rozpoznanie skutočného kontaktu od nechceného stlačenia sa nameraná kapacita porovnáva s hraničnou hodnotou. Meranie je vykonávané obojsmerným digitálnym 1/0 vypínačom (zvlášť pre každú elektródu) a zvodovým rezistorom, ktorý je všitý do priadze s vysokým odporom. Stlačenie klávesníc sa na výstupe mikrokontroléra prejavuje ako sériový tok dát. Pevná doska plošného spoja býva zvyčajne nahradená flexibilnou. [5]

Keďže sa signál mení s tlakom, tento princíp je možné využiť, aj na zistenie toho, ako oblek vyhovuje nositeľovi. [9]

Táto vyšívaná klávesnica bola začlenená napríklad do denimovej bundy **Musical Jacket** (obr.1). Sú sériovo vyrábané s použitím bikomponentných nití, obsahujúcich mierne vodivé oceľové a polyesterové vlákna (Bekaert BK50/2). Výrazným kladom je možnosť šitia vrstvy v jednom kroku, s automatickým vyšívaním podľa vopred

nadefinovaného tvaru obvodu a spôsobu šitia v prostredí CAD. Bunda je navyiac vybavená aj klávesnicou riadenými MIDI syntetizérmi. [5]



Obrázok 1 Bunda Musical Jacket a jej kapacitná textilná klávesnica [5]

Klávesnica bundy „Musical Jacket“ používa PIC mikrokontrolór od spoločnosti Microchip Technology Inc.. Ten meria kapacitu jednotlivých elektród. Elektródy sú vyšité do tvaru čísiel na klávesnici mobilu, ďalej pokračujú dráhami až k doske plošných spojov, kde končia kruhovou plochou pre prepojenie s touto doskou. Pre zníženie odporu je tu veľký dôraz kladený na umiestnenie stehov. Niť sa mnohokrát prekrízuje, vytvárajú sa paralelne odpory a vodivosť vyšívaného prvku sa tým zvyšuje. Pre zaistenie presného merania kapacít je bunda opatrená uzemnením striedavého prúdu. [5]

1.3.1.2 Tričko s EKG senzorom

Veľmi zaujímavou aplikáciou vyšívania vodivou niťou je aj tričko merajúce signál EKG (obr. 2), vyvinuté spoločnosťou Fraunhofer. Elektrokardiogram (EKG) je elektrický záznam činnosti srdca. Je zaujímavým príkladom nepriameho merania činnosti srdca. Svaly srdca produkujú elektrické napätie, ktoré sa dá zaznamenať elektródami na pokožke hrude. Centrálnym prvkom je EKG modul na pružnom podklade so zapuzdrením. EKG signál snímajú tri vyšívané elektródy potiahnuté pevným gélom. Vyšité sú v jednom kroku spolu s dráhami vedúcimi k modulu. Ten je pre spojenie s vodivou niťou vybavený kovovou kontaktnou plochou. Napájanie zabezpečuje nabíjateľná batéria s nepretržitým chodom 24 hodín. K tričku je pripravená cvokmi, čo umožňuje, napríklad pri praní alebo dobíjaní, jej odnímanie. [5]



Obrázok 2 Tričko s EKG senzorom [5]

Základom pre elektroniku a výšivky je tesne priliehavé tričko. Priliehavosť zabraňuje pohybu prvkov a zaisťuje dobrú kvalitu signálu.

Dráhy a elektródy sú vyšívané striebrom povrstvenou polyamidovou niťou Statex 117/17. Niť je vhodná k strojovému vyšívaniu. Jej nevýhodou je relatívne vysoký odpor okolo 500 ohmov/m. Dráhy sú preto vyšívané viackrát, a batéria je umiestnená čo najbližšie pri module. Okrem toho boli EKG elektródy navrhnuté s dvojitou redundanciou. Nakoniec každá dráha vykazuje odpor 130 ohmov/m. Vodiče k cvokom batérie majú odpor 1,3 ohmu. Dlhšie dráhy, medzi EKG modulom a meracími elektródami, sú prispôsobené elastickým vlastnostiam podkladového materiálu. Sú šité do tvaru cik- cak a počas vyšívania je tričko natáňované. Obmedzí sa tým mechanické namáhanie nite počas nosenia. [6]

Prepojenie technického vybavenia s výšivkou si vyžaduje, aby bola niť vodivá aj na povrchu. Vodiče medzi elektródami a EKG modulom sú dodatočne izolované flexibilným polymérom. [6]

Elektronické súčiastky a ich prepojenia s dráhami sú chránené proti vonkajším vplyvom zapuzdrením. Forma puzdra sa vytvára odlievaním. Vplyv teploty pri vytvrdzovaní puzdra mierne mení aj vlastnosti podkladovej textílie Statex. V okolí modulu sa stáva menej pružnou. Vzhľadom k malým rozmerom danej oblasti, je to však ešte prijateľné. [6]

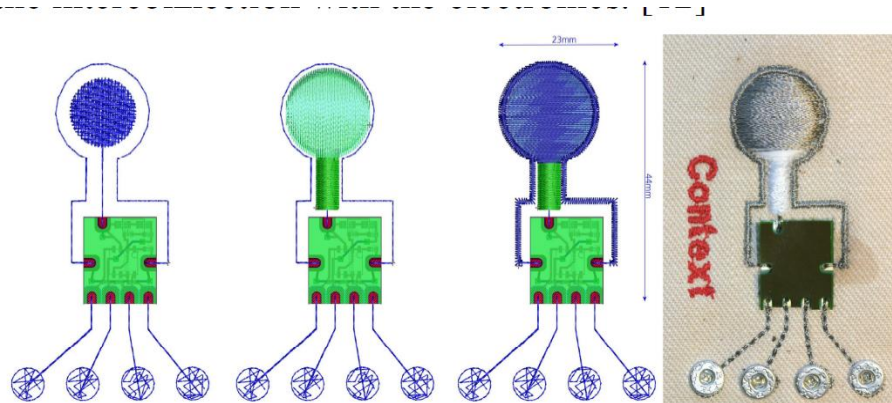
1.3.1.3 Tričko s EMG senzorom

Spoločnosť Franhofer IZM vyvinula v spolupráci s firmou Philips aj tričko so senzorom zachycujúcim elektrickú aktivitu svalov EMG (obr.3). Na rozdiel od predchádzajúceho trička, toto má bezkontaktné senzory. Povrchové elektromyografické (EMG) elektródy sú obvykle umiestnené na koži. Problém tohto nastavenia je, že prepojavací potenciál medzi pokožkou a pevnou elektródou nie je definovaný. Preto tieto elektródy detekujú prechádzajúci elektrický prúd spojením kapacitne k telu, namiesto zisťovania priamo prúdu vytváraného pohybom svalov, a preto, nevyžadujú elektrický kontakt s kožou.



Obrázok 3 Tričko s EMG senzorom [6]

Senzor je vytvorený z troch vyšívaných vrstiev. Prvá je vodivá vrstva, a spája vyšívaný obvod s flexibilným podkladom. Ďalšia je izolačná z nevodivej nite a nakoniec je aplikované vodivé tienenie (obr.4).



Obrázok 4 Vyšívané vrstvy senzoru EMG [6]

1.3.1.4 Vesta monitorujúca dýchanie

Vesta (obr.5) bola navrhnutá pre použitie v zdravotníctve, na monitorovanie rýchlosti a hĺbky dýchania pacientov s dýchacími problémami. Grafické užívateľské rozhranie poskytuje vizuálnu spätnú väzbu v reálnom čase. Možné je diaľkové monitorovanie, napr. lekárom.

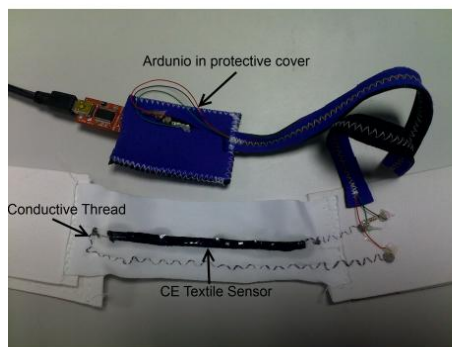


Fig. 1: Respiratory Sensor



Fig. 2: Breathing monitoring t-shirt

Obrázok 5 Senzor dýchania a vesta monitorujúca dýchanie [7]

Textilný senzor bol použitý kvôli tomu, že prichádza do kontaktu s pokožkou. Použitý je v ňom piezoelektrický materiál špeciálne vytvorený na sledovanie pohybov tela. Pri roztiahnutí materiálu sa jeho odpor zvyšuje. Dýchanie je merané pomocou sledovania expanzie a kontrakcie hrudného koša. Prúžok tohto špeciálneho materiálu je obalený do vodivej nite (Bekinox, použitej v experimentálnej časti tejto práce) a sériovo spojený s odporom, aby sa vytvoril delič napätia obvodu. Na ochranu pred vlhkosťou a účinkami vonkajšieho prostredia je potiahnutý silikónom. [7]

1.3.2 Ovládacie prvky

Reagujú na impulzy získané zo senzorov alebo z už spracovaných dát. Najznámejšie sú materiály s tvarovou pamäťou. Tie premieňajú tepelnú energiu na pohyb. Pri nižšej teplote je ľahko deformovateľný. Po jej zvýšení si zachováva svoj tvar. Materiály s tvarovou pamäťou sa môžu vyrábať i vo forme nití a teda použiť do inteligentných textílií. Za zmienku stojí tričko od spoločnosti Oricalto, ktoré obsahuje toto vlákno v kombinácii s klasickým textilným materiálom. Pri zvýšení teploty sa stráca pokrčenie. Teda stačí napríklad zohriaťie fénom a tričko je „vyžehlené“. [1]

1.3.3 Akumulácia, uskladnenie, zásobníky

Všetky popísané časti potrebujú na svoju funkciu energiu. V súčasnosti sú to najmä zásobníky, ktoré túto energiu dodávajú. Vyvíjané sú však alternatívne zdroje, ktoré využívajú energiu vytvorenú pohybom tela alebo prijímanú z okolia. [1]

1.3.4 Komunikácia

V inteligentných textíliách prebieha v rámci prepojení informácií

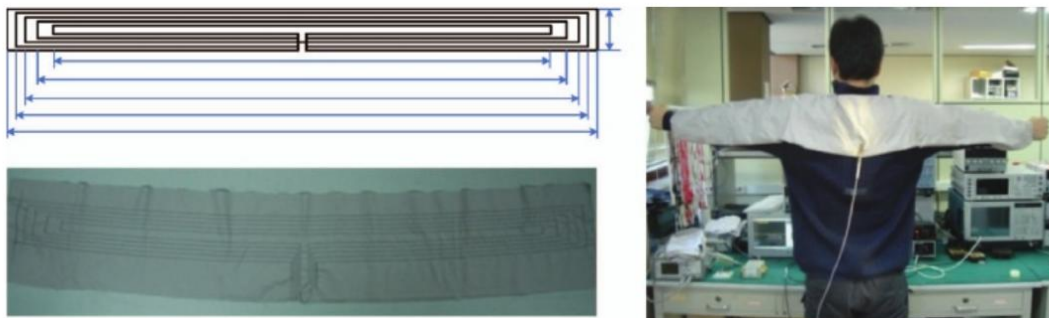
- vo vnútri jednej časti odevného systému
- medzi jednotlivými časťami
- medzi nositeľom a odevom
- medzi nositeľom a okolím

Technológie pre komunikáciu s nositeľom:

- použitie optických vlákien pre výrobu ohybnej textilnej obrazovky. Svetlo vychádzajúce z vlákien v istých bodoch formuje body /pixels/ na textilnom povrchu. Rozlíšenie obrazu je zatiaľ stále veľmi nízke. Textilná obrazovka môže vyžarovať statický a pohyblivý farebný obraz,
- textílie citlivé na tlak umožňujúce vkladanie informácií a vyhodnocovanie,
- integrované textilné antény umožňujúce bezkontaktný prenos informácií. Využívajú sa vodivé priadze na báze medi a niklu, výhodná je možnosť využitia veľkej plochy odevu. [1]

1.3.4.1 Anténa pre príjem FM signálu

Táto vyšívaná anténa (obr.6) zabezpečuje široké prevádzkové pásmo od 80,5 MHz až po 130 MHz. Skladá sa z piatich samostatných postriebných medených nití našitých paralelne tak, aby mohla byť šírka pásma rozšírená cez niekoľko rezonancií. Anténa je našitá na bunde od pravého predlaktia, cez chrbát až po pravé predlaktie. Umožňuje príjem FM signálu s veľmi dobrou kvalitou. [8]



Obrázok 6 Anténa pre príjem FM signálu [8]

1.4 Možnosti merania elektrických vlastností vodivých dráh

Vodivá textilná štruktúra patrí k pasívnym elektrickým obvodovým prvkom. Sú charakterizované odporom R , kapacitou C a indukčnosťou L .

Elektrický odpor R vyjadruje schopnosť telesa klásť odpor elektrickému prúdu. Presne je definovaný Ohmovým zákonom ako konštanta úmernosti medzi jednosmerným prúdom I pretekajúcim vodičom a napätím U medzi koncami vodiča. Platí teda:

$$R = U/I. \quad (1)$$

Hlavnou jednotkou odporu je jeden ohm (1Ω). Je to odpor vodiča, v ktorom jednosmerné elektrické napätie U o veľkosti jedného voltu ($1V$), medzi jeho koncami, vyvolá stály (jednosmerný) prúd o hodnote jedného ampéra ($1A$).

V prípade, že použijeme striedavé elektrické napätie, hovoríme, že máme čo do činenia s elektrickou impedanciou, ktorá sa tiež udáva v ohmoch. Ďalej sa však budeme zaoberať len spôsobmi meraní odporov v jednosmernom prúde. [10]

Podľa spôsobu určenia meranej veličiny sa meracie metódy delia na:

- **priame meracie metódy** – u ktorých sa výsledok merania získa odčítaním údajov z jedného prístroja, príkladom je meranie odporu pomocou ohmmetra
- **nepriame meracie metódy** – u ktorých sa výsledok merania získa výpočtom hodnoty funkcie niekoľkých premenných. Hodnoty týchto premenných sa

získajú pomocou priamych meracích metód. Príkladom je určenie odporu z údajov voltmetra a ampérmetra pomocou Ohmovej metódy. [11]

Metóda merania sa volí podľa požadovanej presnosti a predpokladanej veľkosti odporu meraného prvku a podľa toho či je veľkosť odporu závislá od veľkosti pretekajúceho prúdu.

Podľa veľkosti môžeme odpory rozdeliť na

- malé – do 1Ω
- stredné – 1Ω až $1M\Omega$ a
- veľké – nad $1M\Omega$. [11]

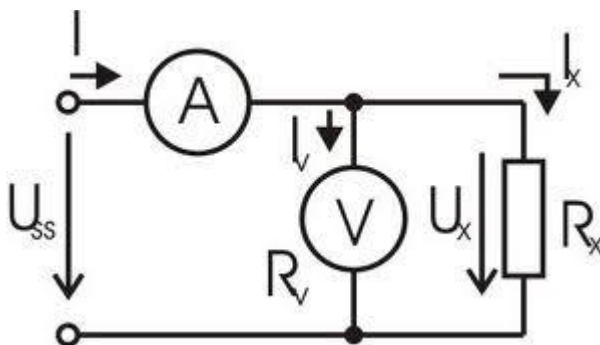
Metódy sú vyberané aj s ohľadom na vybavenie Katedry odevníctva Textilnej fakulty.

1.4.1 Meranie elektrického odporu voltmetrom a ampérmetrom

Zapojenie obvodu vychádza z Ohmovho zákona. Obvod obsahuje i samostatný zdroj jednosmerného napätia, čo umožňuje nastavenie rôznej veľkosti napätia. Pre zamedzenie chýb spôsobených meracími prístrojmi, existujú dve alternatívy. Každá pre rôznu predpokladanú veľkosť odporu.

Obvod na obr. 7 je zapojený tak, že voltmeter meria priamo hodnotu napätia vzorky. Zato ampérmeter meria prúd prechádzajúci cez vzorku I_X a tiež voltmeter I_V . Ak nevezmeme do úvahy prúd tečúci voltmetrom, vzniká chyba metódy.

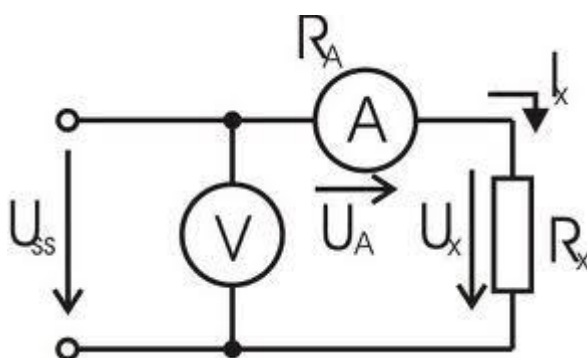
$$\delta_M = \frac{R_X}{R_V} \cdot 100 [\%]. \quad (2)$$



Obrázok 7 Zapojenie obvodu pre meranie malého odporu Ohmovou metódou

Aby bola táto chyba čo najmenšia musí byť $R_V \gg R_X$. Zapojenie je teda vhodné pre meranie **malých odporov**.

Pre **meranie väčších odporov** použijeme zapojenie z obr. 8. V tomto prípade naopak ampérmeter meria priamo hodnotu prúdu pretekajúceho cez vzorku a voltmeter meria súčet úbytku napätia na ampérmetri a na vzorke. Chyba spôsobená meraním aj napätia na ampérmetri $\delta_M = \frac{R_A}{R_X} \cdot 100$ je teda zanedbateľná ak platí $R_A \ll R_X$. [12]



Obrázok 8 Zapojenie obvodu pre meranie väčších odporov Ohmovou metódou

1.4.2 Meranie elektrického odporu ohmmetrom

V súčasnosti najrozšírenejším spôsobom je meranie odporu digitálnym ohmmetrom. Multimeter je pre meranie ideálny, ale má dve obmedzenia. Z princípu nemôže mať vstavaný zdroj veľkého prúdu pre meranie veľmi malých odporov. Takisto ale nemá dostatočne malý vstupný prúd a zdroj vysokého napätia pre meranie veľmi veľkých odporov. Pre meranie odporov extrémnych hodnôt existujú špeciálne k tomu určené meracie prístroje.

U odporov blížiacich sa odporom prívodov a kontaktov je nutné zredukovať ich vplyv. Pri dvojsvorkovom meraní sa dá odpor prívodov potlačiť nulovaním voltmetra, odpor kontaktov je súčasťou meraného odporu a jeho reprodukovateľnosť súčasťou neistoty merania. Pre presnejšie meranie je možné použiť štvorsvorkové pripojenie. Jedným párom svoriek je do meraného odporu privádzaný prúd, ale odpor je definovaný podľa úbytku napätia medzi druhým párom svoriek. Tým je potlačený vplyv parazitných napäťových svoriek. Multimeter má navyše radu funkcií pre zlepšenie a zjednodušenie meraní. [13]

Ďalej sú uvádzané odvodené veličiny, priamo pre použitie na vláknach alebo nitiach. Odpor vlákna kruhového prierezu o dĺžke l môže byť vyjadrený vzťahom

$$R = \frac{l \cdot \rho}{S} = \frac{4 \cdot l \cdot \rho}{\pi \cdot d^2}, \quad (3)$$

kde R je odpor vodiča [Ω],

l je dĺžka vodiča [m],

S je plocha priečného prierezu vlákna [m^2],

ρ merný elektrický odpor vodiča [$\Omega \cdot \text{m}$],

d je priemer vlákna [m].

Merný elektrický odpor ρ [$\Omega \cdot \text{m}$] je materiálová konštanta, vyjadrujúca schopnosť materiálu brániť priechodu prúdu,

$$\rho = \frac{R \cdot A}{l} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot R}{4l}. \quad (4)$$

Špecifický hmotnostný odpor R_s [$\Omega \cdot \text{kg/m}^2$] vyjadruje odpor [Ω] medzi koncami vzorky o dĺžke l a hmotnosti 1 kg . Môžeme ho vypočítať z merného elektrického odporu a hustoty materiálu [kg/m^3] vzťahom

$$R_s = \rho \cdot D. \quad (5)$$

Vzhľadom k malým rozmerom nití je praktickejšie vyjadrenie v [$\Omega \cdot \text{g/cm}^2$].

S použitím týchto jednotiek môžeme stanoviť odpor ľubovoľnej vzorky nití alebo vlákien

$$R = R_s \frac{L}{N \cdot T} \cdot 10^5 \quad (6)$$

Kde L je vzdialenosť medzi koncami vzoriek [cm],

N je počet koncov nití alebo vlákien,

a T je jemnosť nití alebo vlákien. [14]

1.5 Zmeny el. vlastností vodivých textilných štruktúr pri ich používaní

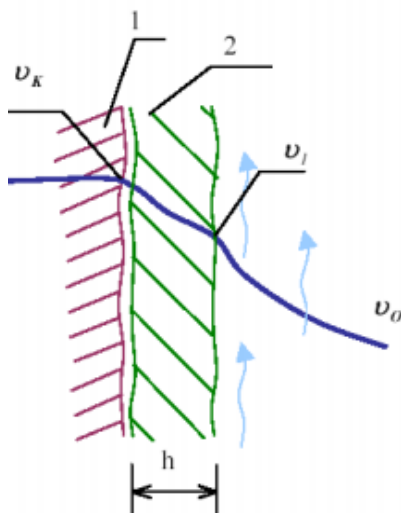
V tejto kapitole sa zameriame na vplyv vlhkosti a teploty na vodivé textilné štruktúry. Intenzitu a mieru zmien ich elektrických vlastností ovplyvňuje aj mechanizmus prenosu tepla a vlhkosti v sústave organizmus – odev – prostredie.

Ľudské telo teplo vytvára, prijíma ho z okolia a tiež ho doň odvádza. V tepelnej sústave organizmus – odev - prostredie dochádza k týmto vlhkotepelným prenosom:

- prenos tepla kondukciou – vedením
- prenos tepla konvenciou - prúdením
- prenos tepla radiáciou – žiarením
- odparovanie potením - evaporáciou
- odparovanie dýchaním – respirácia. [1]

1.5.1 Kondukcia – prenos tepla vedením

Pri kontakte s chladnejším prostredím môžeme vedením stratiť až 5% tepla. Väčšinou sa jedná o prenos tepla chodidlami a zadnou časťou tela pri sedení a spánku. Vedením prebieha aj prenos tepla v textilných vrstvách odevného systému.



1 – pokožka, 2 – textilná vrstva

Obrázok 9 Kondukcia [1]

Tepelný odpor plošných textílií a tenkých vzduchových vrstiev sa vyjadruje vzťahom $R=h/\lambda$, kde h je hrúbka vrstvy [m], λ je tepelná vodivosť [W/mK]. Jednotkou je [m²K/W]. Vzduchová vrstva má maximálny tepelný odpor pri vzdialenosti $h=5\text{mm}$. Pri väčších vzdialenostiach vrstiev už odpor voľným prúdením klesá. Celkový tepelný odpor odevu je súčtom odporov jednotlivých vrstiev. Tepelný odpor vonkajšej vrstvy R_E je zaťažený vplyvom prúdenia vonkajšieho vzduchu.

Celkový tok tepla Q [W] prechádzajúci odevom s plochou A_{CL} vedením dôsledkom rozdielu teploty medzi pokožkou a okolím Δt je daný rovnicou

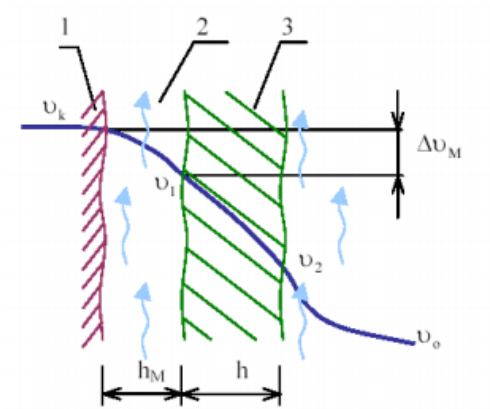
$$Q = \frac{\Delta t \cdot A_{CL}}{R_{TOT}}, \quad (7)$$

kde R_{TOT} je celkový odpor vrstiev odevu s ohľadom na vplyv okolia na vrchnú vrstvu. [1]

1.5.2 Konvencia – prenos tepla prúdením

Prenos tepla prúdením (obr.10) je sprostredkované pohybom tekutiny po objekte. Teplotný spád sa realizuje v tzv. teplotnej medznej vrstve. Jej hrúbka závisí na druhu prebiehajúceho prúdenia. To môže byť laminárne alebo turbulentné. Turbulentné

nastáva pri vzájomnom miesení prúdov tekutiny, kedy častice menia svoju trajektóriu. Prenos tepla je vtedy intenzívnejší.



1 – pokožka, 2 – mikroklima, 3- textilná vrstva

Obrázok 10 Konvencia[1]

Tepelný tok q prenášaný prúdením je vyjadrený Newtovým zákonom

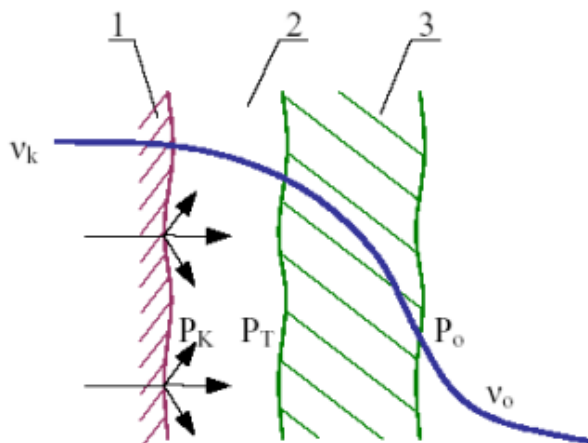
$$q = a_c (t_1 - t_2). \quad (8)$$

Kde a_c [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]. je koeficient prestupu tepla a jeho veľkosť závisí na rýchlosti a druhu prúdu. [21]

1.5.3 Radiácia – prenos tepla žiarením

Prenos tepla je sprostredkovaný žiarením. Po dopade žiarenia na povrch môže dôjsť k jeho odrazu, pohlteniu alebo priechodu cez objekt. [1]

1.5.4 Odvod plynnej vlhkosti z povrchu tela



1 – pokožka, 2- mikroklima, 3- textilná vrstva

Obrázok 11 Odvod plynnej vlhkosti [1]

Vlhkosť sa vo forme vlhkej (obr. 11) pary prenáša v odevnom systéme, podobne ako teplo vedením a prúdením. Hnacím elementom je zmena medzi koncentráciou nasýtenej pary na povrchu pokožky a aktuálnou koncentráciou vodnej pary jej parciálnym tlakom v okolitom prostredí. Pri dostatočnej zmene koncentrácie, dochádza k takému uvoľneniu výparného tepla, ktoré umožňuje dosiahnuť určitý stupeň termofyziológického komfortu. Musí ale byť zabezpečený dostatočný odvod potu a suchý vzduch.

Prevažne vedením sa plynná vlhkosť šíri v uzatvorenom systéme s malými medzerami medzi vrstvami textílií a malou priedušnosťou. [1]

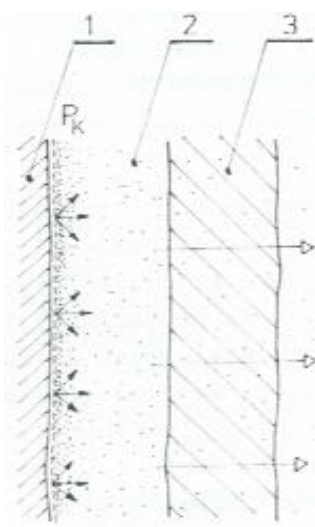
1.5.5 Odvod kvapalnej vlhkosti z povrchu tela

Kvôli ochladzovaniu povrchu tela ľudský organizmus vyprodukuje pri teplote do 34 °C asi 0,03 l potu za hodinu. K ochladeniu dôjde až po odparení tohto potu. Jedinou podmienkou je vtedy dostatočný rozdiel parciálnych tlakov pár pri pokožke a v okolitom prostredí.

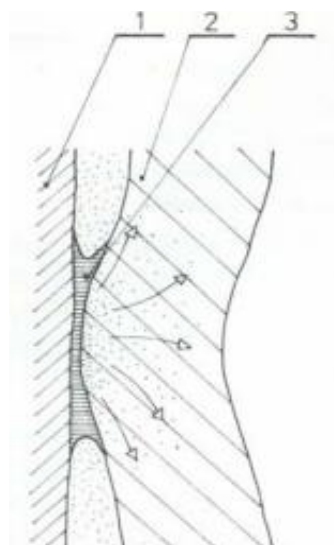
Pochopiteľne, s prítomnosťou odevu, je princíp odvodu vlhkosti zložitejší. V závislosti od štruktúry a zloženia materiálu, sa môže vlhkosť prenášať difúziou, kapilárnym odvodom alebo sorpciou do materiálu.

U **difúzie** je prestup vlhkosti cez textíliu realizovaný prostredníctvom pórov, ktoré svojou veľkosťou a krivolakosťou podporujú kapilárny odvod. Vlhkosť prestupuje v smere nižšieho parciálneho tlaku. Množstvo prenesenej vlhkosti sa znižuje so znižujúcou porozitou materiálu a zväčšujúcou dĺžkou kanálov v materiály (napr. väčšia priepustnosť vodných pár u pletenín než u tkanín).

Kapilárny odvod potu spočíva vo vzlínaní vlhkosti do najbližšej vrstvy materiálu. Pre intenzívny odvod by mala byť špeciálna štruktúra priadze celistvá a vlákna by mali mať medzi sebou minimálnu vzdialenosť. Vlákna by tiež mali mať čo najmenšiu priľnavosť ku kvapaline, aby sa tým zvýšila rýchlosť odvodu potu. Tento princíp je využitý napríklad v úplete COOLMAX a výrobkoch firmy MOIRA. Využitím viacerých vrstiev s postupne znižujúcim sa priemerom kapilár (pri pokožke najväčší priemer) vzniká tlakový spád, ktorý odvádza vlhkosť od pokožky.[1]



Obrázok 12 Difúzia



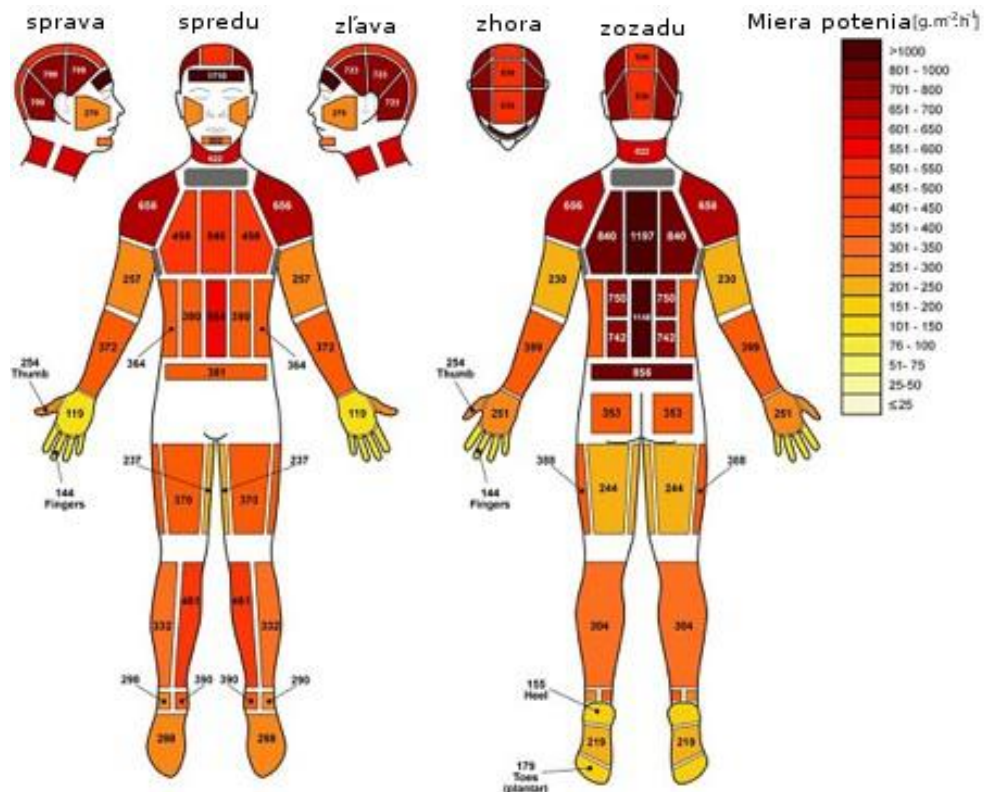
Obrázok 13 Kapilárny odvod

- 1 – pokožka
- 2- mikroklima
- 3 - kvapalný pot

Najpomalším spôsobom prenosu vlhkosti je **sorpcia**. Vlhkosť najskôr vniká do medzimolekulárnych oblastí v štruktúre vlákna a následne sa naviaže na hydrofilnú skupinu v molekulovej štruktúre. [1]

V stave komfortu je teplota pokožky 33 – 35 °C, relatívna vlhkosť vzduchu 50±10%. A na pokožke nie je prítomná žiadna kvapalina.[22]

Na odber vyprodukovaného potu použili panely zo super-savej tkaniny, ktorá udrží kvapalinu s 20 – násobkom jej vlastnej hmotnosti. Po skúške bola odvážená. Testy prebiehali v klimatickej komore. Výsledkom je mapa tela udávajúca množstvo potu vyprodukovaného na jednotku plochy za určitý časový interval (obr.14).



Výsledky ukázali vysokú mieru potenia v strednej a spodnej časti chrbta. Zadná časť tela je menej ochladzovaná vzduchom. Teda sa tu tvorí väčšie množstvo potu, ktorého primárnou funkciou je práve ochladzovanie. Bol tiež zaznamenaný rozdiel v miere potenia u mužov a u žien. U žien bolo zvýšené potenie v oblasti pod prsiami a dolnej časti chrbta. [15]

32

2 Experimentálna časť:

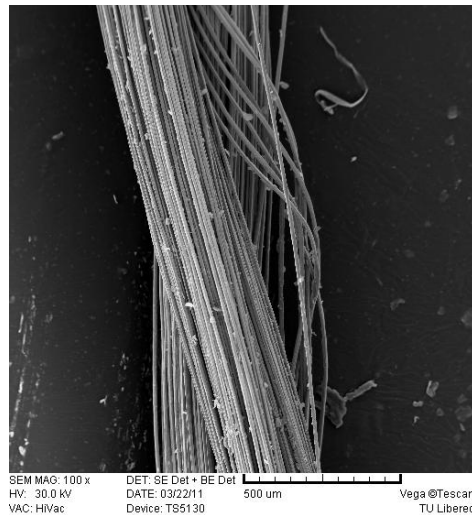
V experimentálnej časti sme sa zamerali na skúmanie zmien elektrických vlastností pod vplyvom potu, konkrétne vzájomné ovplyvňovanie súbežných vodivých dráh. Vplyvom potu sú vystavené najmä tie štruktúry, ktoré sú umiestnené blízko tela. Sú to napríklad odevy na sledovanie stavu pacientov alebo športovcov, zloženia ich potu, frekvencie srdca. Kvôli blízkosti k snímacím zariadeniam, voľnosti v pohybe alebo kompaktnosti materiálu sú tieto dráhy často vedené cez bočné švy alebo stred chrbta. Tieto oblasti vykazujú zvýšenú potivosť, ktorá môže ovplyvňovať funkciu vodivých dráh.

Použitie vodivých dráh v odevoch je pomerne nová záležitosť a zatiaľ nie sú stanovené normy pre meranie ich vlastností. Preto sme si za cieľ stanovili aj preskúmanie spôsobov merania. Tie boli prevedené na Katedre odevníctva Textilnej Fakulty s použitím multimetera Agilent 34410A a stabilného zdroja jednosmerného napätia Agilent DS03102A.

V oboch experimentoch bola použitá niť **Bekaert Bekinox VN 12/2x275/175**.

Použité materiály

Vodivá niť Bekaert Bekinox VN 12/2x275/175 S (obr.15) je vyrobená zo 100% nerezovej ocele. Nite zahŕňajú zväzky nepretržitých za studena ťahaných nehrdzavejúcich oceľových vlákien. Vlákno je vysoko vodivé, ale nemôže byť strojovo šité z dôvodu jeho nízkej pružnosti. Nite môžu byť k hlavnému podstavcu pripevnené mikrozváraním a sú tiež používané k pripojeniu komponentov. V mnohých prípadoch praktického využitia sú pripevnené k podkladu krycím stehom, čo je tiež technika používaná pre pripojenie komponentných prvkov k vyšším obvodom. [16]



Obrázok 15 Vodivá niť VN 12/2x275/175 pod rastrovým elektrónovým mikroskopom

Ako podkladový materiál bola použitá pletenina **Supplex**. Je to špeciálny materiál vyrobený pre športové účely. Omakom a vzhľadom je veľmi podobný bavlně. Na rozdiel od bavlny ale nie je nasiakavý a má zvýšenú odolnosť voči oderu. Rýchlo odvádza pot z pokožky a rýchlo schne. Bol vybraný najmä kvôli jeho možnému použitiu na výrobu priliehavých odevov. Jeho plošná hmotnosť je 270g/m^2 .
[17]

2.1 Tvorba izolačnej vrstvy vodivej nite

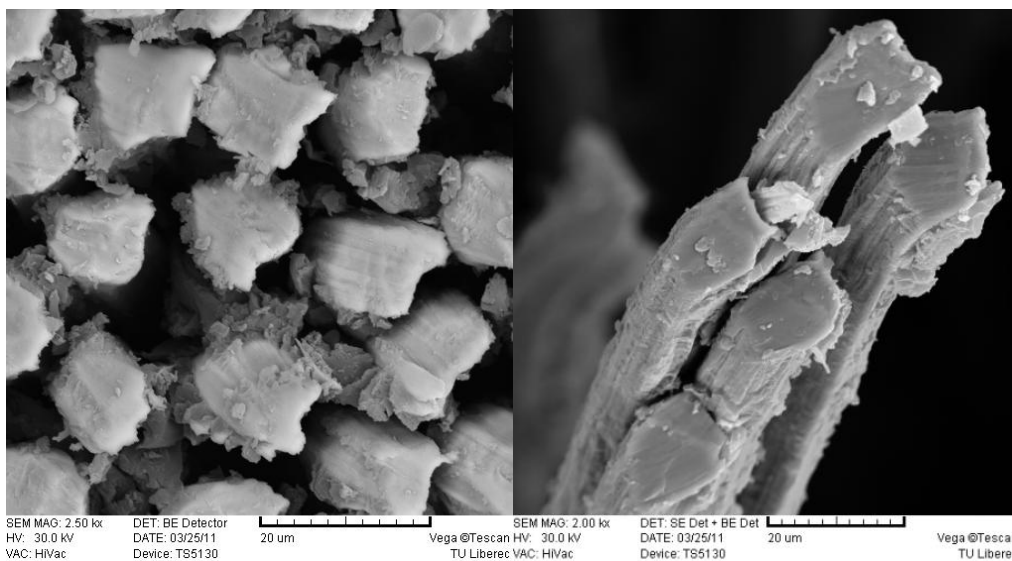
Cieľom experimentu bolo vytvoriť izolačnú vrstvu oceľovej nite použitím metódy sol-gel. Funkčnosť izolácie bola následne testovaná v pote.

Metóda sol-gel je založená na príprave koloidnej suspenzie, ktorá je prevedená na viskózný gél a následne na pevný materiál. V tomto prípade koloidná suspenzia obsahovala oxid kremičitý, ktorý má veľmi dobré elektroizolačné vlastnosti. [2]

Suspenzia bola nanášaná na oceľovú niť VN 12/2x275/175 S v 50% koncentrácii a ponechaná na 30 minút v zvislej polohe pre prvotné zasušenie nánosu. Následne bola 10 minút sušená pri 180°C v teplotnej komore.

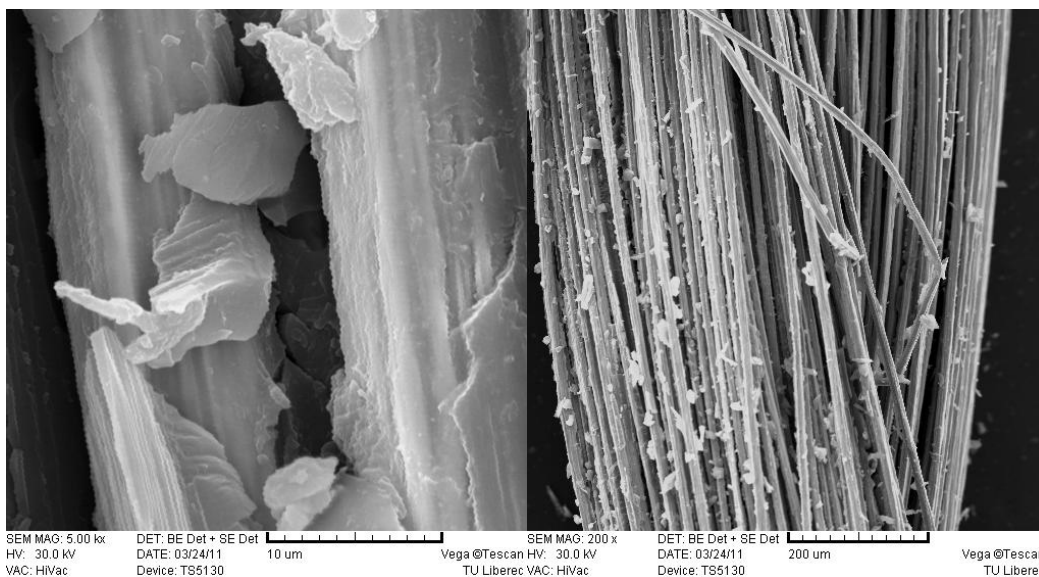
2.1.1 Zhodnotenie nánosu pred skúškou v pote

Ako je možné vidieť zo snímky z rastrového elektrónového mikroskopu, obr. č. 16, nános je po povrchu vlákna rozmiestnený relatívne rovnomerne a pokrýva i vlákna vo vnútornej štruktúre nite.



Obrázok 16 Vodivé nite s nánosom sol-gel

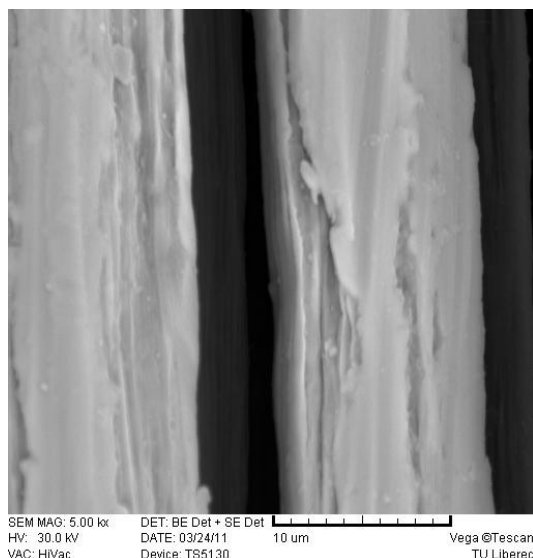
Nanesením vrstvy dochádza k zvýšeniu tuhosti nite, no už pri jej miernom ohybe sa táto tuhosť stráca. Zo snímku z miesta lomu, obr. č 17, je vidieť, že to môže byť spôsobené odlupovaním vrstvy nánosu.



Obrázok 17 Vodivé nite s nánosom v mieste lomu

Pre porovnanie boli urobené aj snímky vlákien bez nánosu (obr. 18). Ukázalo sa z nich, že vlákno už na sebe má nános z výroby. Výrobca to neuvádza. Tento

úsudok bol vyvodený na základe skúsenosti odborníkov zo vzhľadom kovových vlákien pod mikroskopom. Nános mohol ovplyvniť výsledok skúšky.



Obrázok 18 Pôvodné vodivé vlákno

2.1.2 Skúška izolačných vlastností

Ďalej sme prevádzkali testovanie izolačných schopností nánosu. Niť sme v rámci možností neohýbali. Vzorky podkladového materiálu boli zhotovené v rozmeroch 10 cm v smere stĺpcov a 6 cm v smere riadkov z materiálu Supplex. Dráhy boli šité obojstranne krycím stehom triedy 602, dvojhlavým šijacím strojom SIRUBA MODEL F007j (príloha č.1), vo vzdialenosti 2 cm od seba i od okraja vzorky.

Aby sa zabránilo prípadnému poškodeniu nánosu počas šitia, vodivé nite boli nanášané do stehu až dodatočne, ručne. Z každej strany presahovali 2,5 cm. Týmto spôsobom boli vytvorené tri vzorky pre vodivé nite s nánosom a, pre porovnanie, tri vzorky pre nite bez nánosu.

Zloženie potu bolo určené podľa normy pre zisťovanie stálofarebnosti v pote - ČSN EN ISO 105 – E04 (ČSN 80 0165). Norma uvádza dva druhy potu – pot alkalický a kyslý. Na základe predchádzajúcich výsledkov z Diplomových prác

zaoberajúcich sa meraním elektrických vlastností dráh pod vplyvom potu , bol zvolený pot alkalický. Vykazoval vyššiu vodivosť ako pot kyslý.

Zloženie alkalického potu (obsah na 1l):

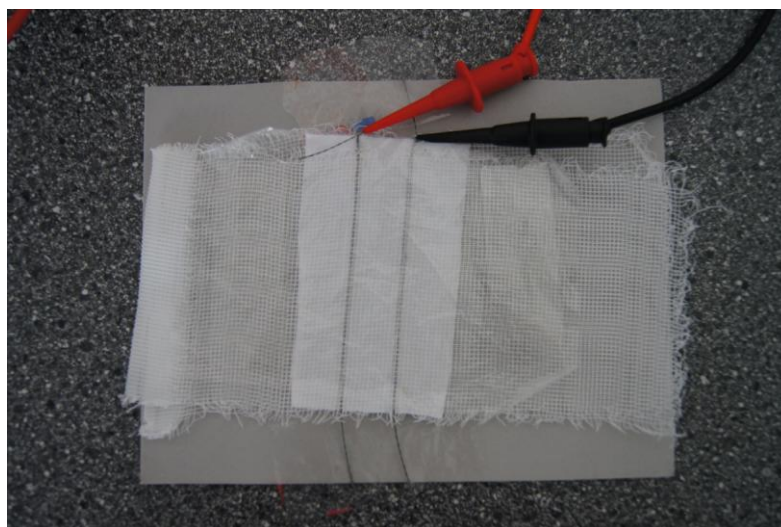
- 0,5g L-Histidin monohydrochlorid 1-hydrát ($C_6H_9O_2N_3.HCl.H_2O$),
- 5g chlorid sodný (NaCl),
- 5g hydrogenfosforečnan disodný 12-hydrát ($Na_2HPO_4.2H_2O$).

Roztok bol upravený na pH 8.0 roztokom hydroxidu sodného 0,1 mol. [18]

2.1.2.1 Príprava pred skúškou

Po zvážení boli vzorky na 10 minút položené do misky so 100 ml potu. Nasiaknuté vzorky boli ponechané v zvislom smere na 1 minútu v smere riadkov i stĺpcov. Vzorka sa tým zbavila nadbytočného potu a následne bola opäť zvážená. Percentuálne nasiaknutie materiálu Supplex bolo $320 \pm 14\%$ a u materiálu z bavlny $300 \pm 9\%$.

Vzorky boli položené na nevodivej podložke, umiestnené medzi nevodivými mriežkami, prekryté fóliou a po bokoch zaťažené (obr. č 19).



Obrázok 19 Meranie izolačných vlastností nite

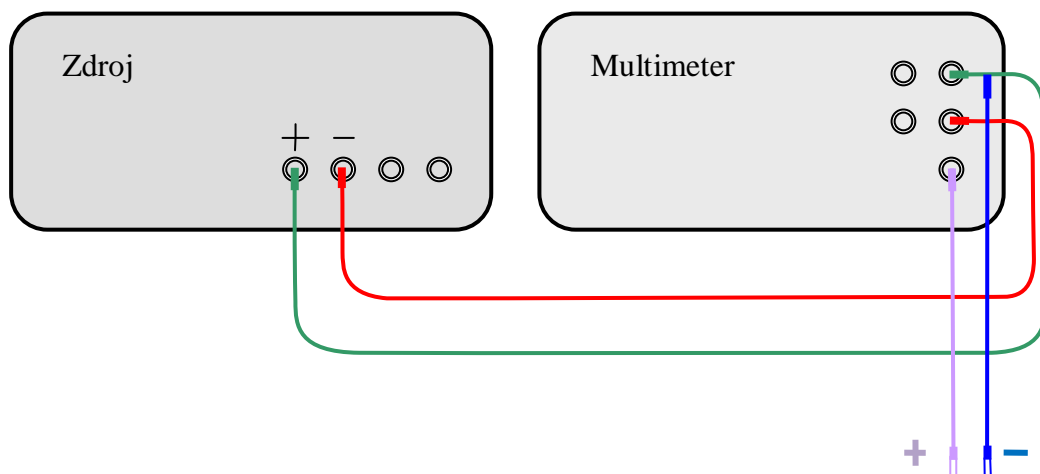
2.1.2.2 Meranie odporu medzi dráhami

Na základe kritérií opísaných v kap. 1.7.1 bol elektrický odpor meraný medzi dráhami Ohmovou metódou pre veľké odpory. Ako merací prístroj bol použitý multimeter Agilent 34410A. Ten bol zapojený súčasne ako voltmeter i ampérmeter. Zdrojom jednosmerného napätia bol Agilent DS03102A.

Postup merania:

1. Zapojenie meracích vodičov podľa schémy na obr. 20.
2. Zapnutie meracích prístrojov.
3. Voľba funkcie merania prúdu `shift` + `AC V`
4. Nastavenie požadovaného napätia na zdroji.

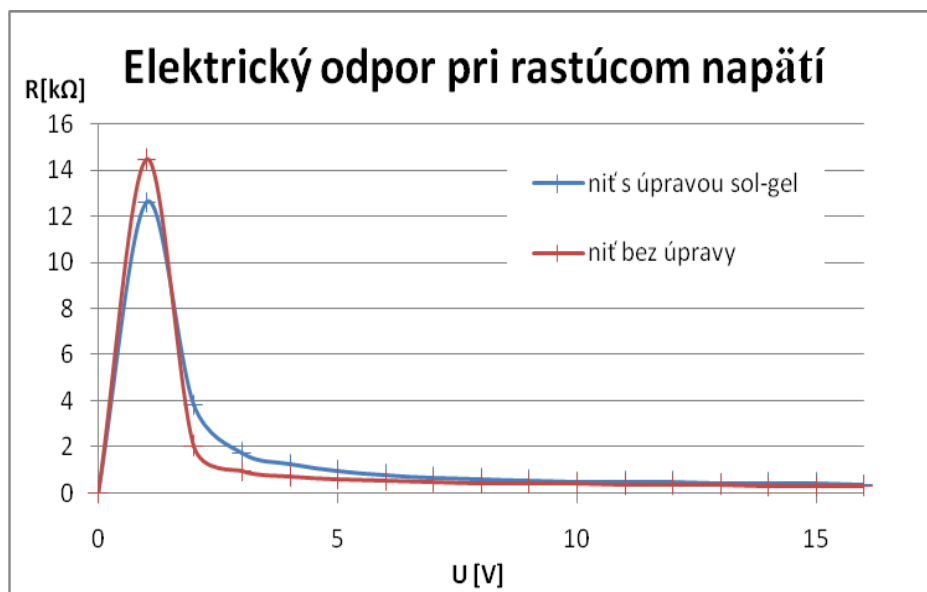
Odpor bol meraný s postupným zvyšovaním napätia na zdroji do 20V po kroku 1V. Agilent DS03102A je veľmi stabilným zdrojom jednosmerného napätia, teda hodnotu skutočného napätia sme už nemuseli odčítavať z multimetra. [13]



Obrázok 20 Zapojenie prístrojov pri meraní odporov medzi dráhami

2.1.3 Zhodnotenie

Na grafe č.1. je zobrazená závislosť priemerného elektrického odporu na rastúcom napätí. V počiatočných hodnotách prudko rastie, vzápätí prudko klesá. Ustáľuje sa až u vyšších hodnôt napätia.



Graf 1 Elektrický odpor medzi dráhami pri rastúcom napätí

Pravdepodobne to súvisí s priebehom prúdu v elektrolytoch. Ten sa po vložení malého napätia na elektródy, v našom prípade vodivé nite, postupne stráca. Prúd lineárne rastie až po prekročení tzv. rozkladného napätia.

V tomto prípade je odpor dostatočne ustálený asi po 8V. Pri napätí vyššom ako 16V zas dochádza k poškodeniu nite a následnému prudkému zvyšovaniu odporu. Aby sme mohli hodnoty odporov medzi vrstvami porovnať, použili sme iba hodnoty z rozsahu 8 až 16 V. Priemerná hodnota pre nite s úpravou sol-gel je 442,56 $\Omega/10$ cm a pre nite bez úpravy 359,57 $\Omega/10$ cm.

Úprava sol-gel teda má mierne elektroizolačné vlastnosti. Po porade s odborníkmi sa však už v ďalšom nanášaní nánosu so zmenenou koncentráciou nepokračovalo, hlavne kvôli nízkej trvácnosti a výskytu nánosu z výroby.

2.2 Skúška vplyvu jednosmerného prúdu na vodivé nite v pote

Na základe priebehu prvej časti experimentu, kedy dochádzalo pri rôznych napätiach k porušeniu nite, sme sa rozhodli preskúmať vplyv jednosmerného prúdu na vodivé nite v pote.

Zvolili sme konštantné napätia 5, 3 a 1,5V. V praxi môže tento prípad nastať napríklad pri umiestnení vodivých dráh spájajúcich batériu s elektrickým zariadením do oblastí, kde dochádza k zvýšenému poteniu.

Ako podkladový materiál bol aj v tomto prípade zvolený materiál Supplex. Pre porovnanie bola vybratá 100% bavlnená pletenina. Jej plošná hmotnosť je 190g/m^2 .

Pred samotnou tvorbou vzoriek bola pletenina najskôr vypratá a usušená.

Každé napätie bolo testované pri vzdialenostiach dráh 1 cm, 2 cm, 5 cm, 10 cm a 20 cm. Merania na 1cm, 2cm a 5cm sme opakovali 3-krát. Na vzdialenosti 10 cm a 20 cm 1-krát.

Rovnako ako v predchádzajúcom prípade bol použitý alkalický pot.

Testované vzorky boli zhotovené obdobným spôsobom. Dĺžka v smere dráh bola znova 10 cm. Na šírku sme k vzdialenosti dráh pridali ešte z oboch strán 2 cm. Zvážené boli pred i po skúške.

2.2.1 Elektrický odpor vodivej nite

Elektrické vlastnosti vodivých nití sú závislé na ich dĺžke, napätí, materiáli, predchádzajúcom namáhaní, izolácii, a tiež na tom, či sa jedná o nekonečné alebo strižové vlákna. [12]

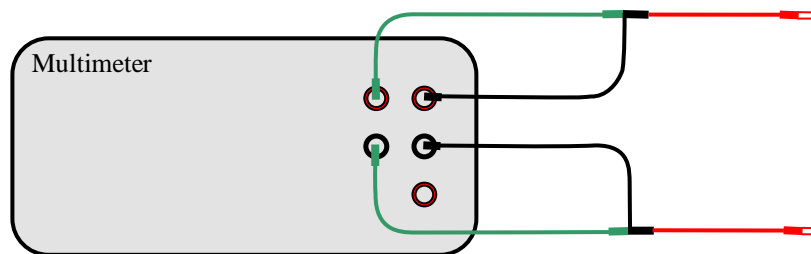
Odpor bol meraný na nitiach pred skúškou v pote multimetrom Agilent 34410A na nevodivej podložke na dĺžke 10 cm.

Postup merania:

1. Zapojenie vodičov štvorsvorkovým zapojením podľa obr.21.
2. Zapnutie prístroja.
3. Voľba funkcie štvorvodičového merania ($\text{shift} + \Omega 2W = \Omega 4W$).

Pozn.: Pri nastavení multimetra na meranie odporu, nesmie byť pripojený zdroj napätia. Multimeter sa môže poškodiť.

Meranie odporu nite



Obrázok 21 Štvorsvorkové meranie odporu multimetrom

Veľmi dôležité bolo pri meraní dbať na to, aby sa niť po prvom meraní odporu neposunula. Uchopením nite do meracích kontaktov, sa niť ohla. Tým mohlo dôjsť k jej poškodeniu, čo by ovplyvnilo skúšku v pote. Napriek tomu, tento spôsob úchytu umožňuje veľmi pohodlné meranie.

V tab.1 je uvedená priemerná hodnota odporu vodivej nite 12/2x275/175 S na 10 cm. Hodnota je zaťažená sústavnou chybou. Používali sme stále rovnaký prístroj, teda táto chyba je u všetkých meraní rovnaká. Pre určovanie zmien odporu počas skúšky nie je potrebné odpočítavať túto hodnotu.

Tabuľka 1 Odpor nite

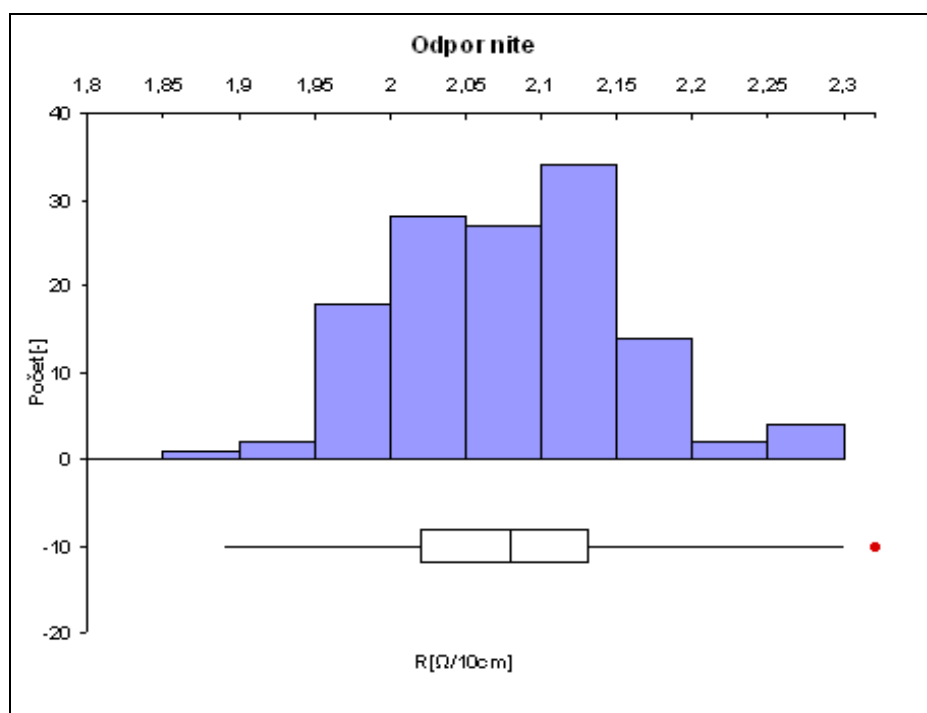
\bar{x}	2,08 $\Omega/10\text{cm}$
s	0,08 $\Omega/10\text{cm}$
ν	26,33 %

Aritmetický priemer $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$

Smerodajná odchýlka $S = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$

Variačný koeficient $v_x = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100 \text{ [%]}$

Krabicovým grafom sme vylúčili zo súboru dát hodnotu 2,32 $\Omega/10\text{cm}$. Tento vyšší odpor nite ovplyvnil aj priebeh prúdu medzi dráhami počas skúšky v pote. Ten bol oproti ostatným trom rovnakým meraniam viditeľne nižší. Meranie sme pri ďalšom spracovaní dát nepoužili a nahradili sme ho novým meraním.



Graf 2 Odpor vodivej nite na vzdialenosti 10 cm

Priemerný odpor nite na 10 cm je teda $2,08 \pm 0,07 \Omega/10\text{cm}$.

Aby sme špecifikovali vodivú niť, premerali sme trikrát odpor aj na vzdialenosti 100 cm a 360 cm. Zminimalizoval sa tým vplyv systematickej chyby. Závislosť odporu nite od dĺžky je zobrazená na grafe č. 3.



Graf 3 Závislosť odporu nite na dĺžke

2.2.2 Realizácia skúšky v pote

Multimeter so zdrojom bol zapojený rovnako ako v predchádzajúcom experimente do obvodu Ohmovou metódou pre meranie veľkých odporov. Na zdroji bolo nastavené konštantné napätie a bol meraný prúd prechádzajúci medzi dráhami. Vzorky boli vystavené vplyvu potu a jednosmerného prúdu 40 minút.

Pôvodne bola hodnota prúdu odčítaná v nepravidelných intervaloch. Neskôr sme sa pre uľahčenie spracovania dát rozhodli snímať hodnoty každých desať sekúnd. Chýbajúce hodnoty sme dopočítali lineárnou interpoláciou.

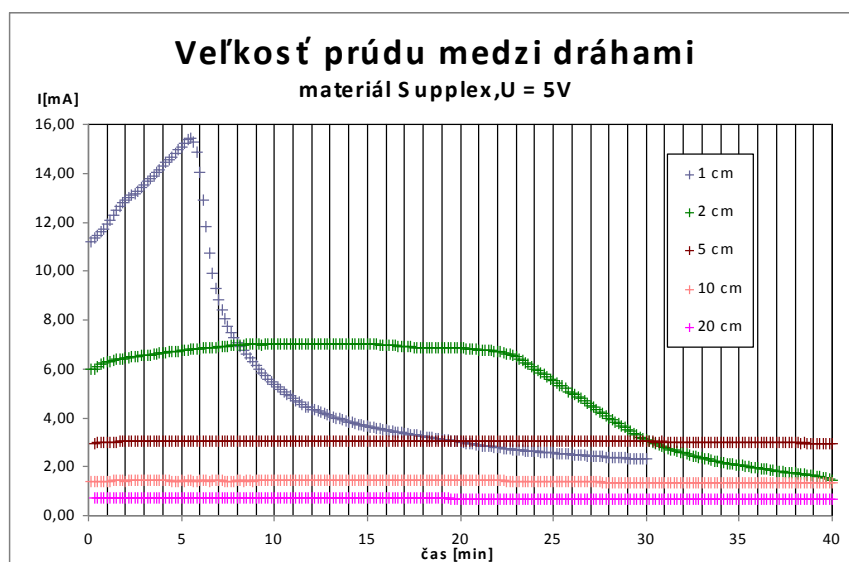
Po každej expozícii nite bol znovu premeraný ich elektrický odpor.

2.2.3 Zhodnotenie skúšky

Výsledky meraní sú rozdelené na zhodnotenie skúšky v pote pri 5V, 3V a 1,5V. Najskôr popísaný priebeh prúdu medzi dráhami a následne jeho vplyv na odpor vodivej nite.

2.2.3.1 Vplyv napätia 5V

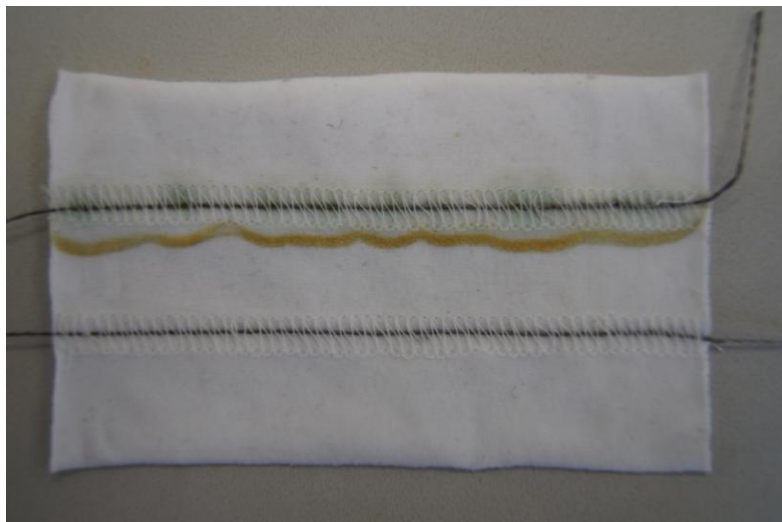
Priebeh prúdu medzi dráhami nebol na jednotlivých vzorkách konštantný. Na grafe č.4 je zobrazená veľkosť prúdu prechádzajúceho medzi dráhami na podklade Supplex pri napätí 5V. Priemerné hodnoty prúdu sú vypočítané z troch meraní.



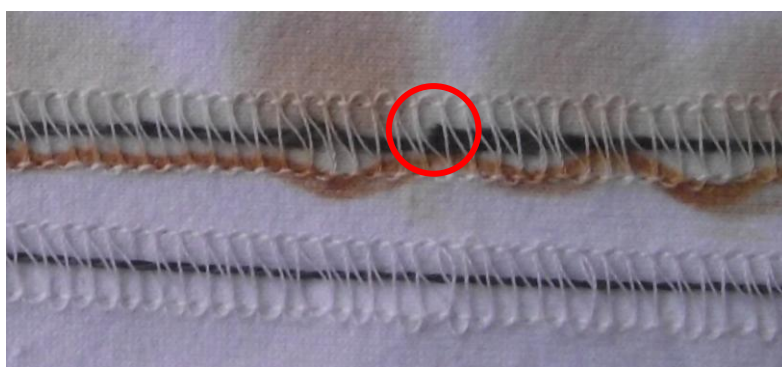
Graf 4 Priebeh prúdu medzi dráhami na materiáli Supplex – 5V

U dráh vzdialených 1 cm sa prúd spočiatku zvyšuje. Po 5-7 minútach, kedy dosiahne svoju maximálnu hodnotu, sa začne prudko znižovať a nakoniec ustáľovať okolo hodnoty 2 mA. Bolo predpokladané, že prúd klesol kvôli poškodeniu nite, preto bola skúška ukončená v čase 30 minút. Pri vzdialenosti 2 cm nedochádza k takým rýchlym zmenám prúdu. Po zvýšení, sa na určitú dobu ustáli, a neskôr sa mierne znižuje. K prudšiemu zníženiu dochádza po 22 minútach. Pri vzdialenostiach 5, 10 a 20 cm sa prúd mení len minimálne a so zväčšujúcou vzdialenosťou dráh klesá množstvo prejdeho prúdu

Okolo niti, zapojenej ako anóda, sa vo všetkých prípadoch postupne objavuje zafarbenie. Spočiatku ide o rovnomerné zapúšťanie zelenkavej farby, neskôr vznikajú „hrdzavé“ škvrny (obr.č.22) a dochádza k lokálnemu poškodeniu nite (obr.23). V niektorých prípadoch až k jej pretrhnutiu.



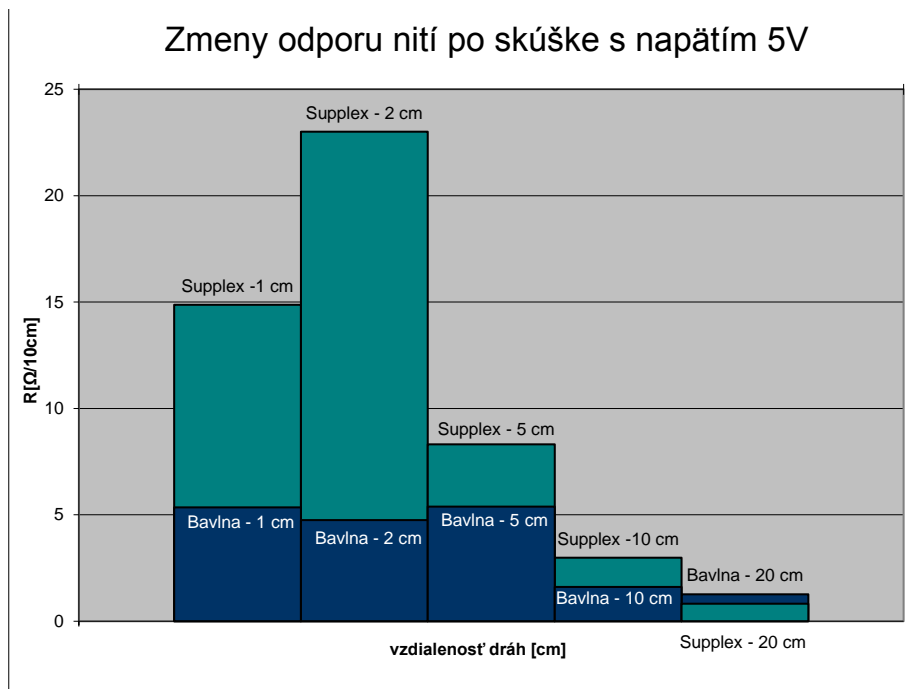
Obrázok 22 Vzorka Supplex po skúške s 5V napätím na vzdialenosti 2 cm



Obrázok 23 Lokálne poškodenie nite na anóde

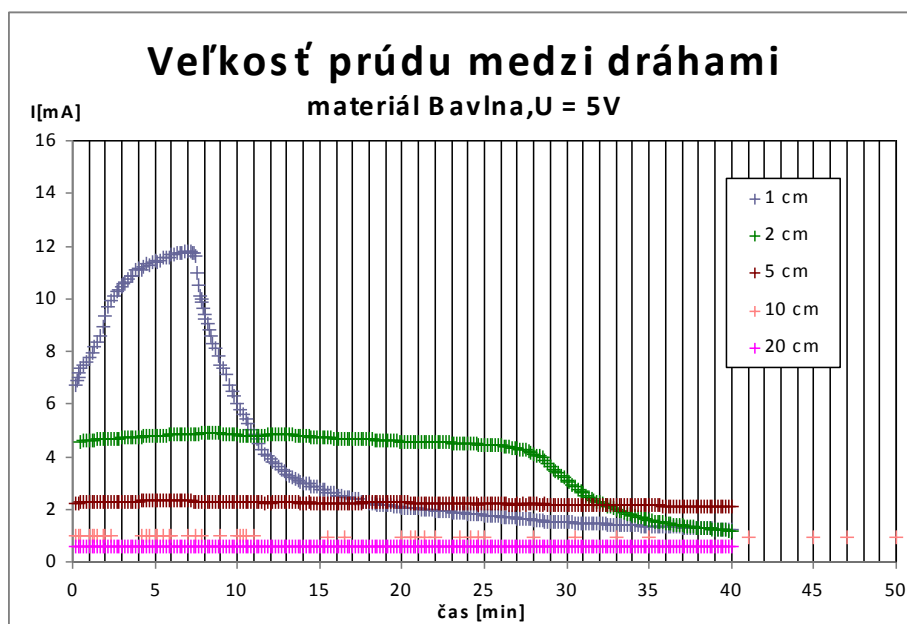
Niť zapojená na katóde nevykazuje žiadne znaky poškodenia. Naopak, u viacerých nití došlo k zníženiu odporu. Po porade s odborníkmi v oblasti elektrotechniky bolo vyhodnotené, že ide o elektrochemickú koróziu vodivej nite. Pre zhodnotenie vplyvu použitého podkladového materiálu a vzdialenosti dráh na mieru poškodenia vodivej nite ďalej porovnávame len zmenu odporu na anóde.

Z grafu č. 5 je zrejmé, že odpor sa najviac zvýšil na niti našitej na podkladovom materiály Supplex vo vzdialenosti 2 cm. V jednom prípade došlo až k jej úplnému pretrhnutiu. Teda nebolo možné odmerať odpor a priemerná hodnota je určená len z dvoch hodnôt. Avšak aj u týchto dvoch nití dochádzalo po skúške k veľmi ľahkému lomu vlákien. Prúd na ne pôsobil celých 40 minút. Dá sa predpokladať, že ak by sme rovnaký čas pôsobili na nite vo vzdialenosti 1 cm, bol by najväčší tento odpor. Na grafe č. 5 je tiež vidieť, že v ostatných prípadoch sa so zmenšujúcou vzdialenosťou dráh odpor nití na Supplexi zvyšuje.



Graf 5 Zmeny odporu nití po skúške s napätím 5V

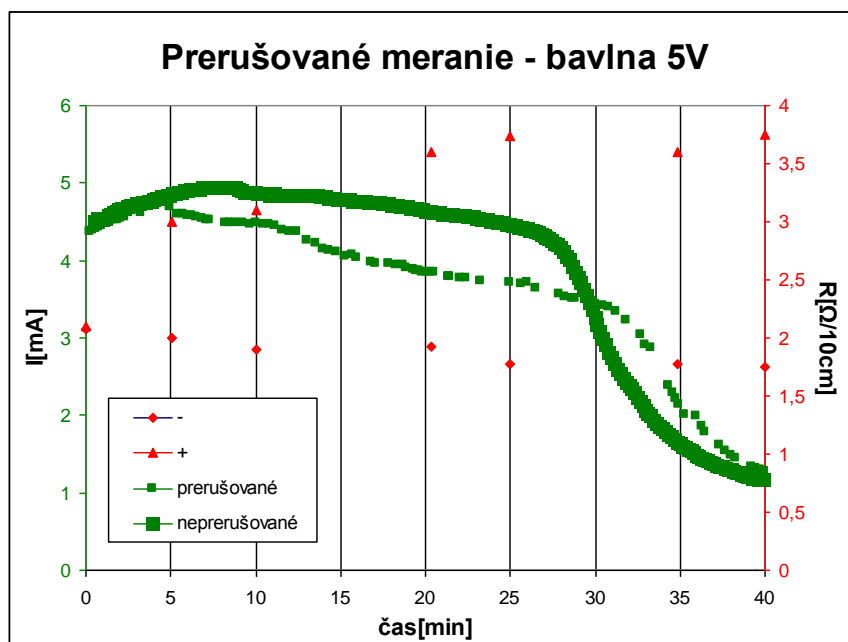
U bavlneného materiálu je priebeh prúdu obdobný (graf č.6). Vodivosť medzi dráhami je ale o niečo nižšia ako u Supplexu. Veľkosť prúdu sa na dráhach vzdialených 1 cm takisto začína znižovať skokovo. Maximálnu hodnotu dosiahnu po 6-8 minútach. Na vzdialenosti 2 cm sa prúd znižuje po 27 minútach. Na ďalších vzdialenostiach sa mení prúd len minimálne.



Graf 6 Pribeh prúdu medzi dráhami na materiály zo 100% bavlny – 5V

Zmena odporu nite po skúške v pote je u bavlneného podkladu nižšia než u materiálu Supplex. Na vzdialenosti dráh 5 cm došlo v jednom prípade počas skúšky k úplnému prietrhu nite. Priemerný odpor je teda počítaný zo zvyšných dvoch hodnôt. K prietrhu mohlo dôjsť kvôli zvýšenému odporu nite pred skúškou. Ten mal hodnotu 2,3 /10 cm, čo je na hornej hranici ešte prijatých hodnôt odporu. Niť mohla byť poškodená.

Aby sme zistili, prečo dochádza pri vzdialenostiach 1 a 2 cm k znižovaniu prúdu, a či ide naozaj o poškodenie vodivej nite, bola vykonaná ďalšia skúška. Odpor vodivej nite bol v nej meraný po určitých časových intervaloch. Na grafe č. 6 je zobrazený priebeh merania. Pred každým meraním odporu nite bolo nutné prerušiť obvod pôsobiaci na dráhy, aby napätie na nitiach nepoškodilo funkčnosť ohmmetra. Ten navyše meria odpor na základe prevodu z napätia, teda by sa tieto napätia sčítali a nedostali by sme pravú hodnotu odporu. Toto ovplyvňovalo následnú hodnotu prechádzajúceho prúdu. Napriek tomu, na tomto prerušovanom meraní vidieť, že odpor nite sa najviac zvýšil na začiatku. Prudké zníženie prúdu ale nesúvisí so znížením odporu vodivej nite.

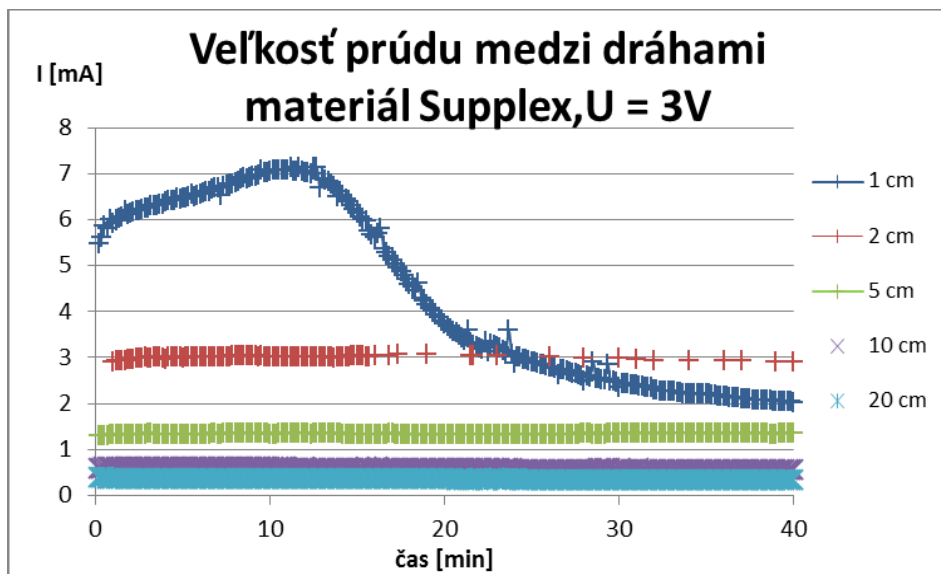


Graf 7 Prerušované meranie - bavlnený materiál 5V

Zmeny množstva prúdu medzi dráhami môžu súvisieť s elektrochemickými dejmi prebiehajúcimi počas elektrolýzy. Pribeh prúdu by mohol byť teda vysvetlený takto. Pri použití veľmi ušľachtilých kovov (ktoré sa vplyvom elektrolýzy nerozpúšťajú), a vložení konštantného napätia na elektródy v priebehu elektrolýzy, prúd I v čase t klesá. Je to spôsobené tým, že klesá počet iónov, ktoré sa podieľajú na prenose náboja.

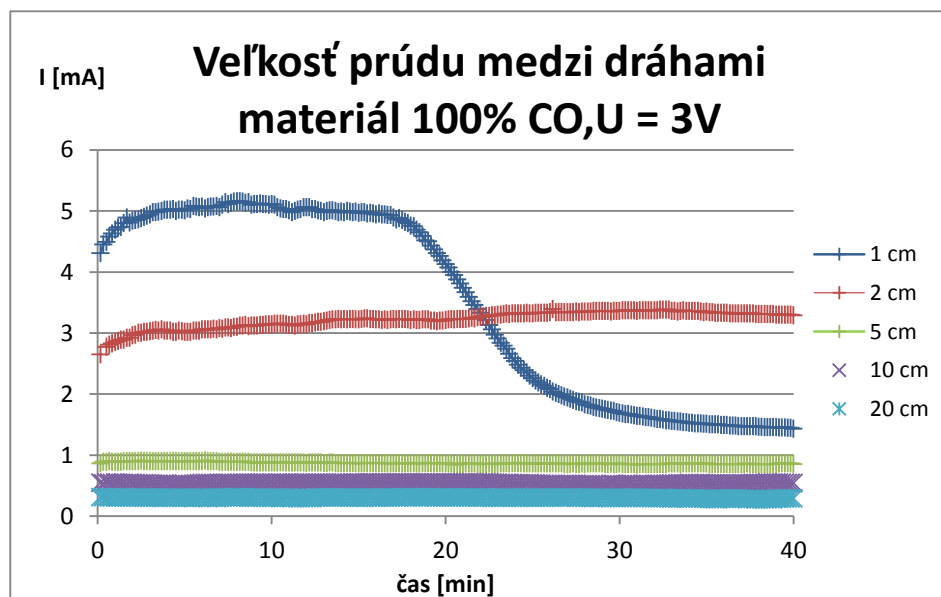
2.2.3.2 Vplyv napätia 3V

Pri napätí 3V sa prúd postupne zvyšoval a následne znižoval len na vzdialenosti 1 cm, a to u Supplexu, i na materiáli zo 100 % bavlny. Na zvyšných vzdialenostiach sa menil minimálne. Čím bližšie boli dráhy, tým väčšie množstvo prúdu cez ne pretieklo.



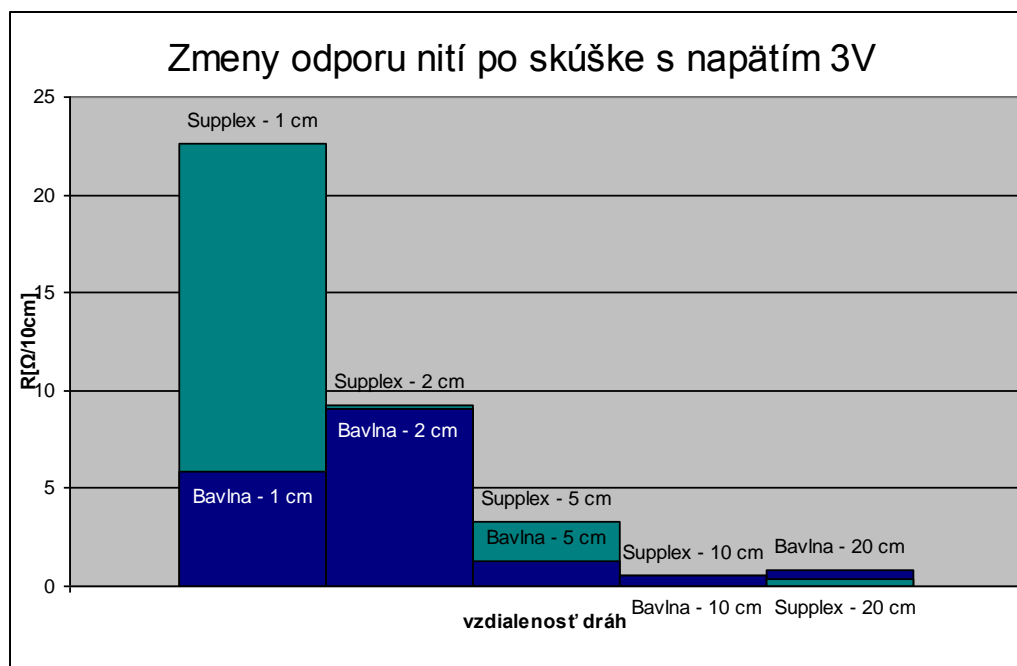
Graf 8 Priebeh prúdu medzi dráhami na materiály Supplex - 3V

Väčšia hodnota prúdu bola zaznamenaná znova na materiály Supplex.



Graf 9 Priebeh prúdu medzi dráhami na materiály zo 100% bavlny - 3V

Rovnako ako u 5V sa zmena odporu nite na anóde zvyšuje so vzdialenosťou dráh a to u Supplexu i u materiálu zo 100 % bavlny.



Graf 10 Zmeny odporu nití po skúške s napätím 3V

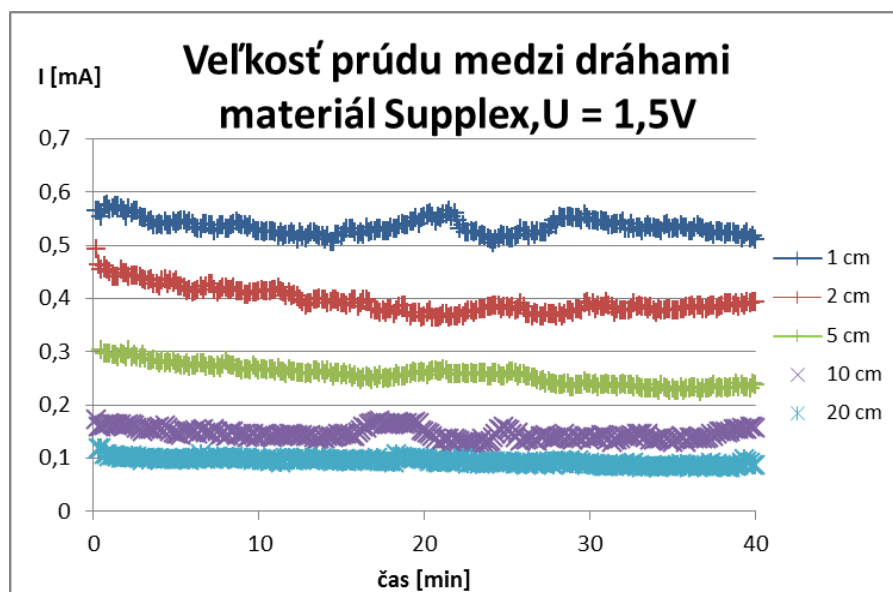
U bavlneného materiálu došlo na vzdialenosti 2 cm k veľkému poškodeniu nite pri mieste úchytu meracích klieští. Prúd preto ďalej pôsobil len na malú časť vzorku, ktorú tým poškodil intenzívnejšie (obr. 24). To zvýšilo i priemernú hodnotu odporu na tejto vzdialenosti. Vo všeobecnosti teda rovnako ako u 5V je menej poškodená niť na bavlnenom podklade.



Obrázok 24 Nepravidelné poškodenie nite

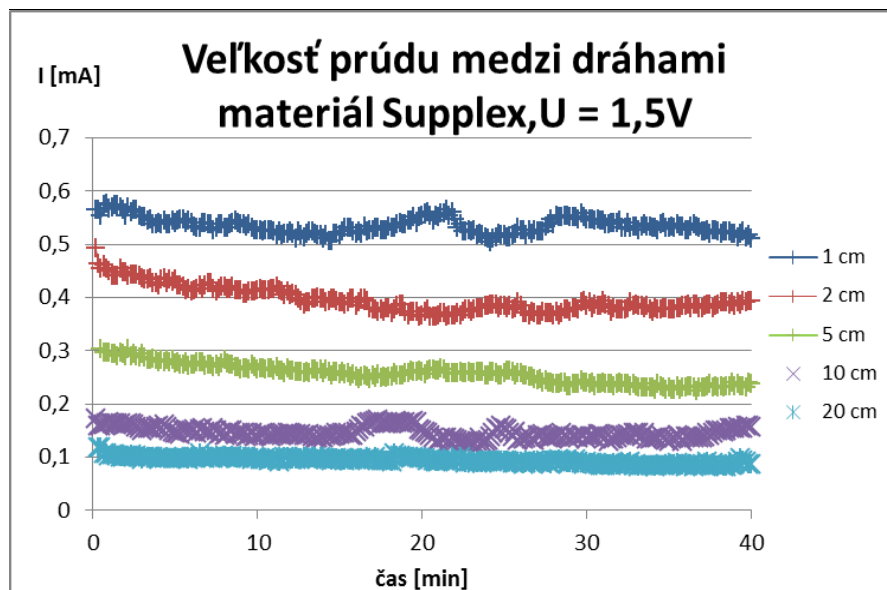
2.2.3.3 Vplyv napätia 1,5V

Pri pôsobení napätia 1,5 V prúd prebiehal medzi dráhami bez väčšej zmeny. So zväčšujúcou vzdialenosťou klesalo množstvo prejdeného prúdu.



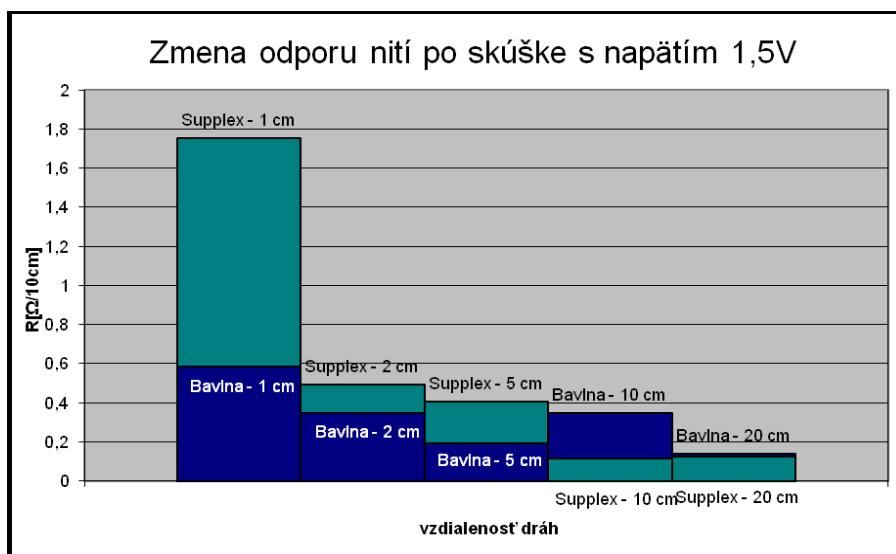
Graf 11 Priebeh prúdu medzi dráhami na materiále Supplex - 1,5V

Vyšší prúd bol nameraný na rovnakých vzdialenostiach znovu u materiálu Supplex.



Graf 12 Priebeh prúdu medzi dráhami na materiále zo 100 % bavlny - 1,5V

Najvýraznejšia zmena odporu je u Supplexu na dráhach vzdialených 1 cm.



Graf 13 Zmena odporu nití po skúške s napätím 1,5V

2.2.4 Spôsob poškodenia vodivej nite

Na preskúmanie vplyvu jednosmerného elektrického prúdu na niť, potrebujeme zistiť akému druhu korózie podliehajú.

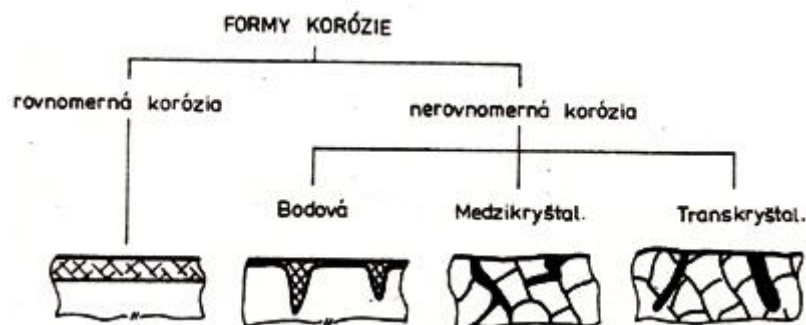
Vodivá niť VN 12/2x275/175 S je zložená z tzv. austenitickej nerezovej ocele. Tá má za bežných podmienok veľmi dobrú odolnosť proti korózií. O túto vlastnosť

však môže za určitých okolností prísť. Závisí to najmä na jej zložení, štruktúre, povrchových vlastnostiach a podmienkach prostredia. Jedným z dôvodov korózie nerezovej ocele je elektrochemické rozpúšťanie elektródy počas elektrolýzy v elektrolyte, teda vo vodivom prostredí. [20]

Anódová reakcia vtedy odpovedá oxidácii kovu, a teda vlastnej korózii, rozpúšťaniu.

Korózia môže prebiehať rôznymi spôsobmi:

- **Rovnomerná korózia:** (obr.23) strata homogenity a rovnomerné ubúdanie vrstvy ocele po celom povrchu. Umožňuje pomerne jednoduché určenie úbytku materiálu.
- **Nerovnomerná korózia:**
 - **Transkryštalová** (obr.23) napadá súčasne vlastné zrná kovu aj ich hranice, na povrchu nemusí byť vidieť. Zrná sú vlastne monokryštály, z ktorých sa skladajú kovové materiály. Ich veľkosť závisí na spôsobe výroby.
 - **Bodová korózia** (obr.23) je lokalizovaný korózny dej, pri ktorom vznikajú na kovovom povrchu ojedinelé korózne body, zvyšok materiálu je bez zrejmeého napadnutia.
 - **Medzikryštalová korózia** (obr.23) napadá rozhranie medzi kryštálmi (väčšia je rýchlosť korózie po hranách zŕn než rýchlosť korózie vlastného zrna). Materiál, korodujúci mezikryštálovo, stráca mechanickú pevnosť. Najskôr sa prejavuje praskaním a neskôr i rozpadom materiálu.

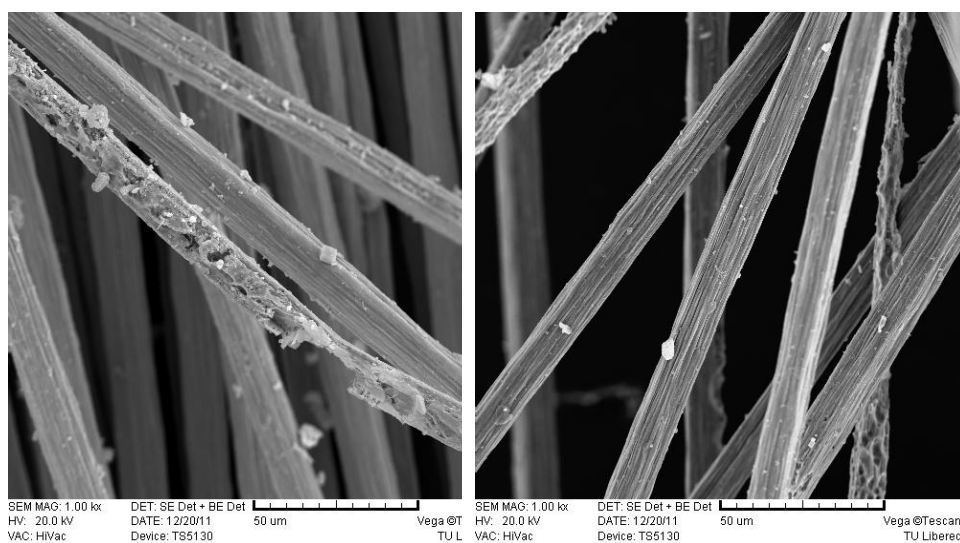


Obrázok 25 - Formy korózie [20]

Pre korozivzdorné ocele je najtypickejšia bodová a medzikryštálová korózia.[20, 21]

Pre overenie, či môže naozaj ísť o jednu z týchto typov korózií boli urobené snímky na rastrovom elektrónovom mikroskope. Vzorky boli vybraté z nití na anóde, podrobených skúške na vzdialenosti 2 cm. Pri vzdialenosti dráh 1 cm by nebolo možné porovnanie kvôli nedokončenému meraniu u 5V. Nite boli vybraté zo všetkých troch napätí.

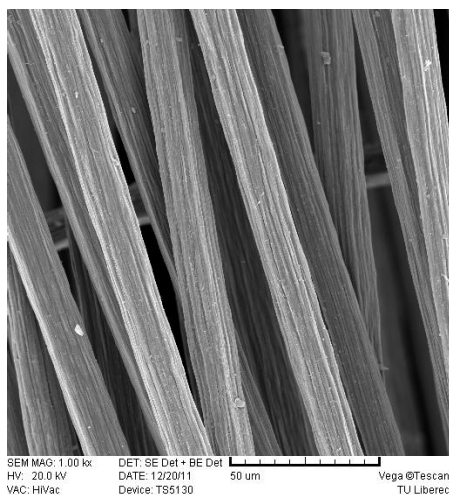
Na rozdiel od našich očakávaní väčšina vlákien nebola vôbec viditeľne poškodená. Len miestami sa objavovali vlákna, ktoré boli poškodené buď po celom povrchu, alebo len bodovo. Na obr. č. 24 je vidieť vlákna nite po skúške s napätím 5V, na obr. č. 25 sú vlákna s napätím 3V. Pri nitiach pod napätím 5V bola vyššia frekvencia výskytu poškodených vlákien a aj poškodenie bolo o niečo väčšie ako u 3V.



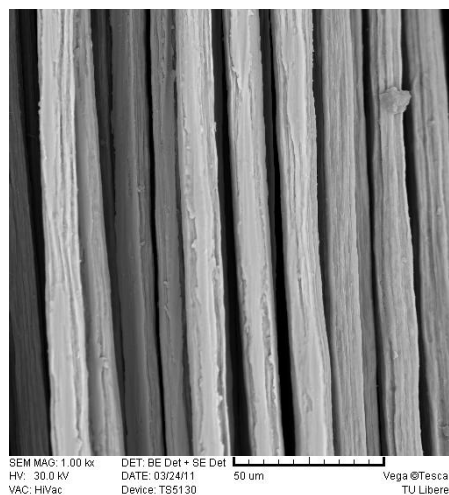
Obrázok 26 Vplyv napätia 5V

Obrázok 27 Vplyv napätia 3V

Na vláknach vystavených napätiu 1,5V (obr. č. 26) neboli nájdené väčšie stopy poškodenia. Pre porovnanie sú na obr. 27 snímky vodivých nití bez skúšky v pote.

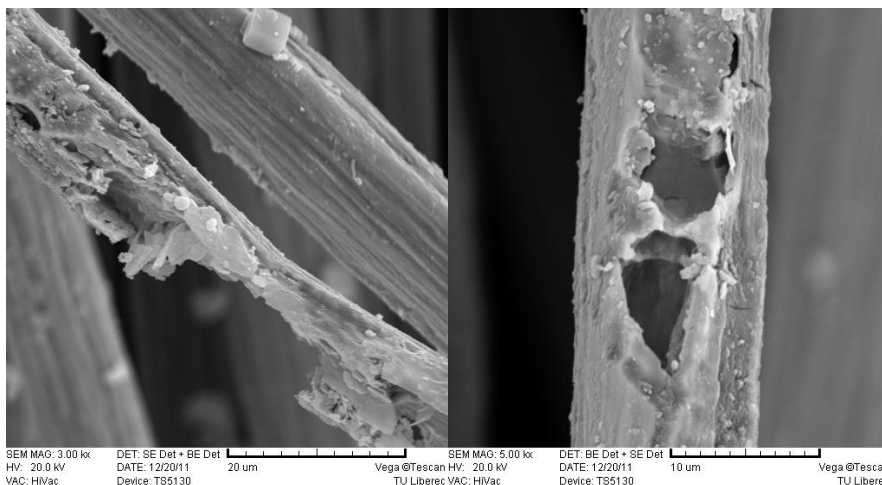


Obrázok 28 Vplyv napätia 1,5 V



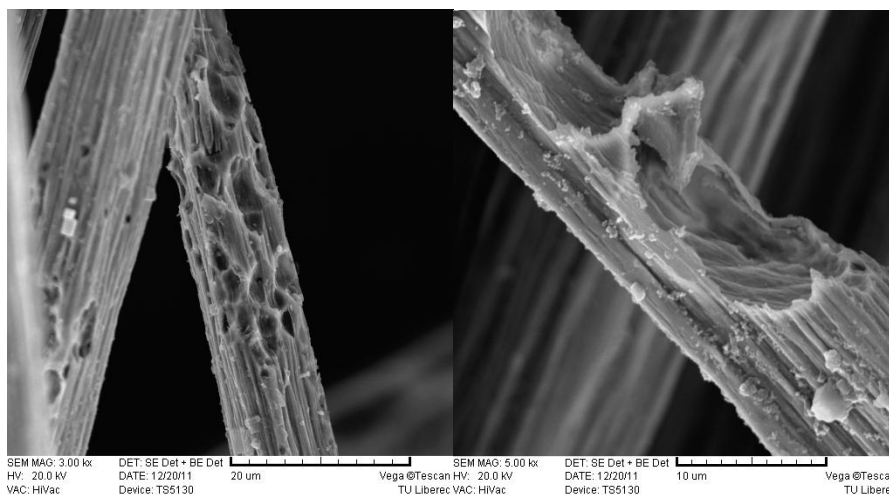
Obrázok 29 Vodivé nite bez skúšky v pote

Ešte väčším priblížením vlákien je možné vidieť na obr. č. 28 možný dôvod lomu vlákien po skúške s napätím 5V na vzdialenosť 2 cm. Tie boli zo všetkých nití najviac poškodené a i keď sme na nich bezprostredne po skúške namerali priechod prúdu, už pri menšom dotyku sa lámali a teda úplne strácali schopnosť viesť elektrický prúd. Na pravej strane obr. č.29 je vidieť ako elektrolýza rozpustila vlákno do hĺbky.



Obrázok 30 Vplyv napätia 5V - bližší pohľad

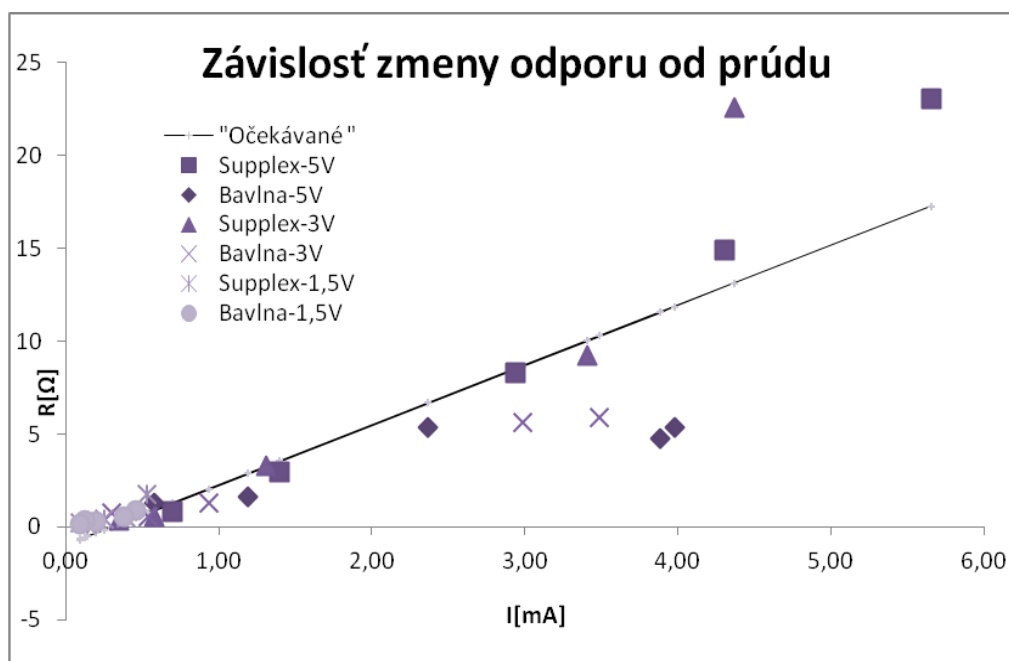
Pri napätí 3V je poškodenie miernejšie (obr.č.30).



Obrázok 31 Vplyv napätia 3V - bližší pohľad

Snímky ukazujú, že vlákna sú koróziou napadané nerovnomerne. Mohlo by teda ísť o bodovú alebo medzikryštálovú koróziu.

Vysvetľovalo by to aj variabilitu hodnôt odporu po skúške v pote. Presné hodnoty sú uvedené v prílohe č. 3. Graf č. 14 ukazuje závislosť prúdu, ktorý prechádzal počas v skúšky v pote medzi dráhami na zmene odporu nite na anóde. Čím viac prúdu pôsobilo na nite, tým boli na nitiach namerané variabilnejšie hodnoty elektrického odporu.



Graf 14 Závislosť zmeny odporu nite od prúdu v skúške v pote

2.2.5 Zhodnotenie

Pri skúške vplyvu potu na vodivé nite pod konštantným napätím sa prejavil vplyv vzdialenosti vodivých dráh a taktiež druhu použitého materiálu na mieru zmeny odporu nití. Táto zmena mala podobu poškodenia nite zapojenej na anóde a naopak mierneho zvýšenia vodivosti na niti zapojenej ako katóda.

Poškodenie nite nastalo pri všetkých troch napätiach. Najviac to bolo samozrejme u napätia 5 V.

Závislosť zmeny odporu vodivej nite na ich vzájomnej vzdialenosti má logické opodstatnenie. Pri priebehu elektrického prúdu kvapalinou nie sú vodičmi elektróny (ako je to u kovov), ale ióny. Tie vznikli rozpustením v roztoku. Po vložení napätia na nite, sa začnú pohybovať. Záporne nabité ióny ku kladnej anóde a kladne nabité k zápornej katóde. Sú pri tom ale brzdené okolím, teda musia spracovať určitú energiu. Čím väčšiu vzdialenosť musia prekonať, tým prekonávajú väčší odpor. V elektrotechnike túto mieru odporu popisuje elektrický odpor. Keďže bolo použité konštantné napätie, podľa Ohmovho zákona sa potom so zväčšujúcim odporom musí znižovať prechádzajúci prúd. Keďže inont prenesie jeden náboj, miera poškodenia nite potom závisí na množstve prejdeného prúdu. Korešponduje to z jedným z Faradayových zákonov. Ten hovorí, že hmotnosť látok vylúčených na elektródach je priamo úmerná prechádzajúcemu prúdu a dobe jeho pôsobenia.

Prechod prúdu kvapalinou je ďalej sprevádzaný rôznymi chemickými reakciami, nazývanými elektrolýzou. Ióny predávajú svoj náboj elektróde a vylúčia sa na povrchu elektródy ako atómy alebo molekuly, alebo chemicky reagujú s povrchom elektródy alebo s elektrolytom. V našom prípade, reagovali s elektródou, tým došlo k rozkladu anódy. Vzniknuté kationty potom putovali ku niti na katóde, ktorú pokovovali. Malo to za následok mierne zvýšenie jej vodivosti.

Elektrická vodivosť sa menila aj použitím rôznych materiálov sa menila aj elektrická vodivosť medzi dráhami. Na nami testovaných materiáloch bola vyššia vodivosť zaznamenaná na materiály Supplex. Znížená vodivosť bavlneného materiálu môže byť vysvetlená sorpčnými vlastnosťami bavlny. Tá pri kontakte s alkáliami navyše bobtná. V našom prípade tým preberá časť potu do svojej štruktúry, teda sa znižuje aj počet iónov, ktoré môžu prenášať elektrický prúd. V textilnom priemysle sa

bobtnanie v alkáliách vo veľkej miere využíva na zlepšenie vlastností bavlny, ako je lesk, pevnosť, sorpčnosť. Pribehom vyššieho elektrického prúdu teda dochádzalo aj k väčšiemu poškodeniu nite zapojenej na anóde.

3 Záver

V teoretickej časti sme najskôr popísali druhy vodivých vlákien, používaných k výrobe vodivých nití. Ďalej nasleduje prehľad výrobkov, v ktorých sú textilné vodivé štruktúry začlenené. V ďalšej časti boli potom navrhnuté spôsoby merania elektrických vlastností textilných štruktúr. Tie boli vybrané tak, aby sa čo najviac znížili možné chyby merania a tiež s ohľadom na vybavenie Katedry odevníctva. Navrhnuté zapojenia boli využité v experimentálnej časti práce. Nakoniec je opísaný priebeh vlhkosti a tepla, pôsobiaci na vodivé štruktúry v odeve.

Cieľom experimentálnej časti práce bolo vytvorenie izolácie na oceľovej vodivej niti. Použili sme nános sol- gel s obsahom oxidu kremičitého. Nános však vykazoval veľmi nízku trvanlivosť a pri ohybe vlákna sa ľahko odlupoval. Aj keď to výrobca neuvádza zistili sme výskyt nánosu z výroby, ktorý mohol celú skúšku ovplyvniť. Po premeraní elektrického odporu v pote medzi dráhami nití s nánosom a tiež bez nánosu bolo vidieť, že nános má mierne elektroizolačné schopnosti. Neboli ale nijak výrazné, preto sme sa rozhodli v skúške ďalej nepokračovať. Izoláciu sa nám teda nepodarilo vytvoriť.

Na základe priebehu skúšky v pote, kedy dochádzalo pri rôznych napätiach k poškodeniu nite, bol stanovený ďalší experiment. Preskúmanie vzájomného vplyvu dvoch súbežných vodivých dráh. Simulovali sme situáciu, kedy je textília nasiaknutá potom a súbežnými vodivými niťami prebieha jednosmerný prúd s konštantným napätím. Podobne prechádza prúd napríklad medzi batériou a elektrickým prístrojom. Zvolili sme napätia 5V, 3V a 1,5V. Skúmali sme závislosť vzdialeností dráh a použitých podkladových materiálov na mieru zmien odporov vodivých nití.

Počas skúšky došlo k poškodeniu nite u všetkých troch napätí, dokonca aj u 1,5V. Poškodená bola ale len niť zapojená na anóde. V jej okolí vznikalo zafarbenie. Niť na katóde mala v niektorých prípadoch, dokonca zvýšenú vodivosť. Snímky nite z anódy z rastrového mikroskopu naznačili, že ide o postupné rozpúšťanie vlákien. Vlákna sa v týchto miestach následne lámu. Toto ovplyvnilo aj meraný odpor po skúške v pote a zvýšilo jeho variabilitu. Zaujímavé bolo zistenie, že sa objavujú miesta, ktoré nie sú poškodené vôbec. Ničia sa len niektoré časti vlákien.

Po premeraní odporov nití sa nám potvrdila závislosť zmeny odporov na vzdialenosti dráh. U materiálu Supplex tomu tak bolo vo všetkých prípadoch. So zmenšovaním vzdialenosti sa zväčšovala hodnota elektrického odporu vodivej nite po skúške. Teda došlo k väčšej deštrukcii nite. Bolo tomu tak dokonca i vtedy, keď na vzdialenosti dráh 1 a 2 cm u 5V a na vzdialenosti 1cm u 3V prúd nepôsobil po celý čas rovnako, ale po určitej dobe klesol.

U materiálu zo 100 % bavlny bol výsledok podobný. Tiež boli viac poškodené nite našité bližšie pri sebe. Výnimky boli pravdepodobne spôsobené nehomogenitou tohto materiálu. V dvoch prípadoch zas mohlo dôjsť ku skresleniu výsledku použitím poškodenej nite.

Použitý podkladový materiál tiež ovplyvňoval odpor nití. Supplex mal väčšiu vodivosť ako materiál zo 100 % bavlny. Nite na tomto materiály boli teda viac poškodené ako nite na bavlnenom podklade. Supplex má vysokú vysychavosť a teda v praxi by u neho pravdepodobne nedošlo k takej vodivosti.

Experiment ukázal, že voľbou vhodného materiálu a v rámci možností aj vzdialenosti dráh je možné obmedziť poškodenie nite koróziou.

Skúška bola vykonaná len za účelom porovnania rôznych vplyvov na vzájomné pôsobenie dvoch súbežných dráh. V praxi nemusí dôjsť k takej intenzívnej elektrolýze. Zaujímavé by bolo porovnať vodivosť potu s týmto normovaným zložením a vodivosť skutočného potu.

Zoznam literatúry

- [1] Luboš, Hes a Petr, Sluka.: *Úvod do komfortu textílií*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005.
- [2] Skripta TUL. Vysocefunkční textílie. [online] [Dátum: 9. november 2010.]. Dostupné z WWW: <https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2008-07-18/11-04-39.pdf>.
- [3] Militký, Jiří.: *Textilní vlákna*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2002. ISBN 80-7083-644-X.
- [4] T, Ghosh, A, Dhawan a Muth.: Formation of electrical circuits in textiel structures. *Scribd*. [online] [Dátum: 18. marec 2011.] Dostupné z WWW: <http://www.scribd.com/doc/23931390/Formation-of-Electrical-Circuits-in-Textiles-Structures>.
- [5] Post, a iní.: E-broidery:Design and fabrication of textile based computing. [online] [Dátum: 5. máj 2011.]. Dostupné z WWW: <http://web.media.mit.edu/~rehmi/pdf/post-isj393-part3.pdf>.
- [6] Fully integrated EKG shirt based on Embroidered Interconnection with conductive yarn and miniaturized flexible electronic. [online] Fraunhofer IZM. [Dátum: 5. marec 2010]. Dostupné z WWW: http://www.izm.fraunhofer.de/Images/FullyIntegratedEKGShirt-TorstenLinz-FraunhoferIZM-BSN06_tcm357-170743.pdf.
- [7] E, Mitchell, S, Coyle a Connor, O. Breathing feedback system with wearable textile sensors. [online] [Dátum: 12. november 2011]. Dostupné z WWW: http://doras.dcu.ie/15437/1/Submitted_BSN2010.pdf.
- [8] S, Roh a S, Chi. Wearable textile antennas. *Journal of fashion design*. [online] [Dátum: 9. október 2011]. Dostupné z WWW: <http://www.scribd.com/doc/63078052/Wearable-Textile-Antennas>.
- [9] *Současný stav v oboru inteligentních a interaktivních textílií*. Mateo. s. 15.
- [10] M, Mojžiš.: *Elektrotechnické praktikum*. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2009. ISBN 978-80-553-0259-1.
- [11] V, Haasz a M, Sedláček.: *Elektrická měření, Přístroje a metody*. Praha: ČVUT, 2000. ISBN 80-01-01717-6.
- [12] Technická literatura Ben.: *Elektrotechnická měření*. Praha: BEN, 2002. ISBN 80-733-022-9.
- [13] P, Horský a J, Horská. Problematika připojení při měření jednosměrného odporu - malé a střední hodnoty. *infocube*. [online] [Dátum: 11. október 2010.]. Dostupné z WWW:

http://www.infocube.cz/images/eem/clanky/Problematika_pripojeni_pri_mereni_stejnosmerneho_odporu_6-9.pdf.

[14] *Conductivity measurement of fibers and yarns.*: Šafářová. Liberec, 2010.

[15] Loughborough University. [online] [Dátum: 16. august 2011.]. Dostupné z WWW: <http://www.lboro.ac.uk/departments/lds/news/sweat-research.html>.

[16] R, Post a M, Orth.: Ebroidery: Design and Fabrication of textile-based computing. [online] [Dátum: 10. september 2010.]. Dostupné z WWW: <http://web.media.mit.edu/~rehmi/pdf/post-isj393-part3.pdf>.

[17] Hannah.: [online] [Dátum: 10. august 2010.] Dostupné z WWW: <http://www.hannah.cz/html/prehled-materialu.html?w=538&l=s>.

[18] ČSN EN ISO 105-E04 (800165): Textilie - Zkoušky stálobarevnosti - Část E04: Stálobarevnost v potu

[19] Nerezová ocel. *Praktická příručka*.: [online] [Dátum: 9. november 2011.]. Dostupné z WWW: <http://www.astralpool.cz/podpora/Abynereznekorodovala.pdf>

[20] Korózia. *Kvalita produkcie*.: [online] [Dátum: 10. december 2011.]. Dostupné z WWW: <http://www.kvalitaprodukcie.info/13-korozia/>.

[21] ÚKMKI VŠCHT : Korózní inženýrství. [online] [Dátum: 18. november 2011]. Dostupné z WWW: http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/uvod.htm#obr4.

[22] R. A. Delljová a spol.: *Hygiena odívání*. SNTL, 1984.

Zoznam použitých obrázkov

Obrázok 1 Bunda Musical Jacket a jej kapacitná textilná klávesnica [5].....	18
Obrázok 2 Tričko s EKG senzorom [5]	19
Obrázok 3 Tričko s EMG senzorom [6]	20
Obrázok 4 Vyšívane vrstvy senzoru EMG [6]	20
Obrázok 5 Senzor dýchania a vesta monitorujúca dýchanie [7]	21
Obrázok 6 Anténa pre príjem FM signálu [8]	23
Obrázok 7 Zapojenie obvodu pre meranie malého odporu Ohmovou metódou	24
Obrázok 8 Zapojenie obvodu pre meranie väčších odporov Ohmovou metódou	25
Obrázok 9 Kondukcia [1]	28
Obrázok 10 Konvencia[1]	29
Obrázok 11 Odvod plynnej vlhkosti [1]	30
Obrázok 12 Difúzia	31
Obrázok 13 Kapilárny odvod	31
Obrázok 14 Miera potenia ľudského tela počas aktivity [15]	32
Obrázok 15 Vodivá niť VN 12/2x275/175 pod rastrovým elektrónovým mikroskopom	34
Obrázok 16 Vodivé nite s nánosom sol-gel	36
Obrázok 17 Vodivé nite s nánosom v mieste lomu	36
Obrázok 18 Pôvodné vodivé vlákno	37
Obrázok 19 Meranie izolačných vlastností nite	38
Obrázok 20 Zapojenie prístrojov pri meraní odporov medzi dráhami	39
Obrázok 21 Štvorsvorkové meranie odporu multimetrom	42
Obrázok 22 Vzorka Supplex po skúške s 5V napätím na vzdialenosti 2 cm	46
Obrázok 23 Lokálne poškodenie nite na anóde	46
Obrázok 25 Nepravidelné poškodenie nite	52
Obrázok 26 - Formy korózie [20]	54

Obrázok 27 Vplyv napätia 5V	55
Obrázok 28 Vplyv napätia 3V	55
Obrázok 29 Vplyv napätia 1,5 V.....	56
Obrázok 30 Vodivé nite bez skúšky v pote	56
Obrázok 31 Vplyv napätia 5V - bližší pohľad	56
Obrázok 32 Vplyv napätia 3V - bližší pohľad	57

Zoznam použitých grafov

Graf 1 Elektrický odpor medzi dráhami pri rastúcom napätí	40
Graf 2 Odpor vodivej nite na vzdialenosti 10 cm	43
Graf 3 Závislosť odporu nite na dĺžke	44
Graf 4 Priebeh prúdu medzi dráhami na materiále Supplex – 5V	45
Graf 5 Zmeny odporu nití po skúške s napätím 5V	47
Graf 6 Priebeh prúdu medzi dráhami na materiály zo 100% bavlny – 5V	48
Graf 7 Prerušované meranie - bavlnený materiál 5V	49
Graf 8 Priebeh prúdu medzi dráhami na materiály Supplex - 3V	50
Graf 9 Priebeh prúdu medzi dráhami na materiály zo 100% bavlny - 3V	50
Graf 10 Zmeny odporu nití po skúške s napätím 3V	51
Graf 11 Priebeh prúdu medzi dráhami na materiále Supplex - 1,5V	52
Graf 12 Priebeh prúdu medzi dráhami na materiále zo 100 % bavlny - 1,5V	53
Graf 13 Zmena odporu nití po skúške s napätím 1,5V	53
Graf 14 Závislosť zmeny odporu nite od prúdu v skúške v pote	57

Zoznam tabuliek:

Tabuľka 1 Odpor nite	42
----------------------------	----

PRÍLOHA č. 1

SIRUBA
WWW.SIRUBA.COM



**F007J-W122-
356/FHA kpl. –
SIRUBA 3-ihlový
plochý interlock**

3-ihlový,
vysokorychlostný
interlock plochý,
diferenciálne
podávanie, rozpích
krajných ihl 5,6
mm, možnosť šitia
len spodným
krytím, alebo 1
ihlou, rýchlosť šitia
max. 6000 st./min.,
centrálne mazanie.

Multimeter Agilent 34410A je vyvinutý pre rýchle merania a presné spúšťanie.

Rozlíšenie displeja je $6\frac{1}{2}$ miesta, duálne zobrazenie, prenesenie 10 000 meraní/s pri rozlíšení $5\frac{1}{2}$ miesta, logovanie dát, meranie odporu a frekvencie, s rozhraniami LAN, USB a GPIB.



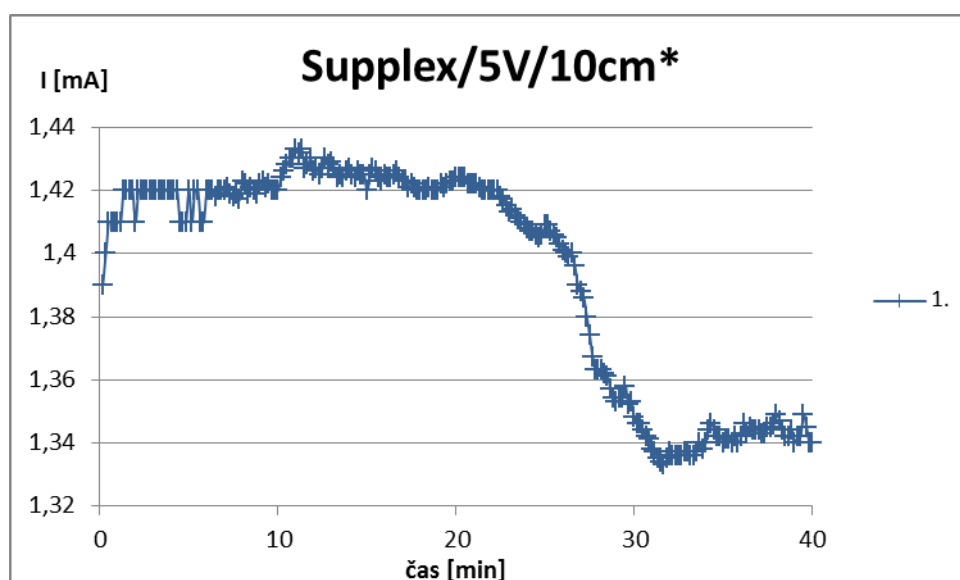
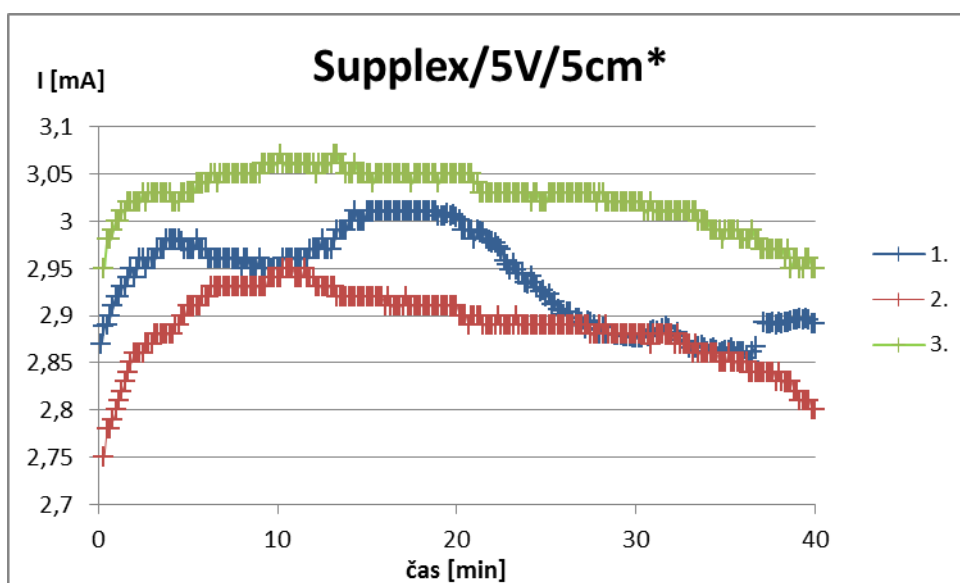
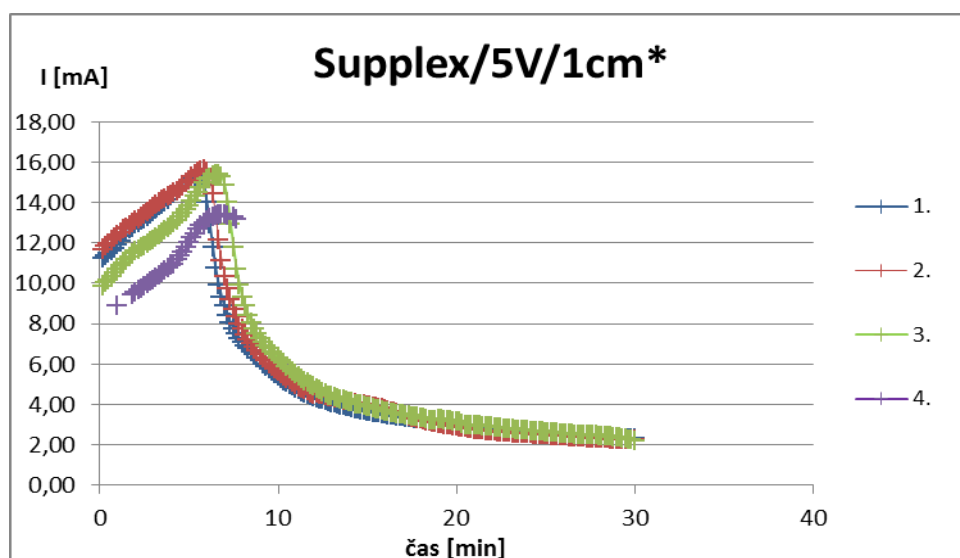
Vlastnosti:

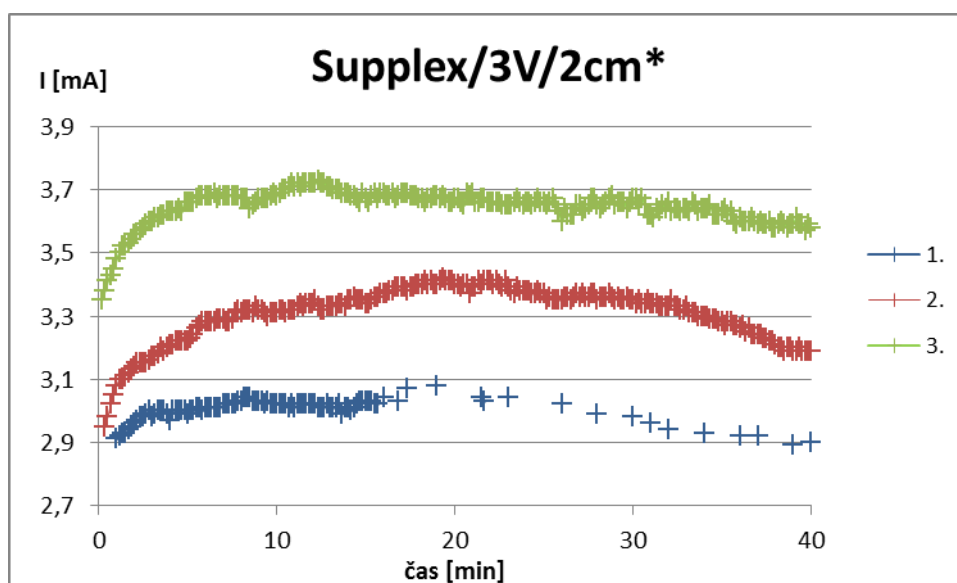
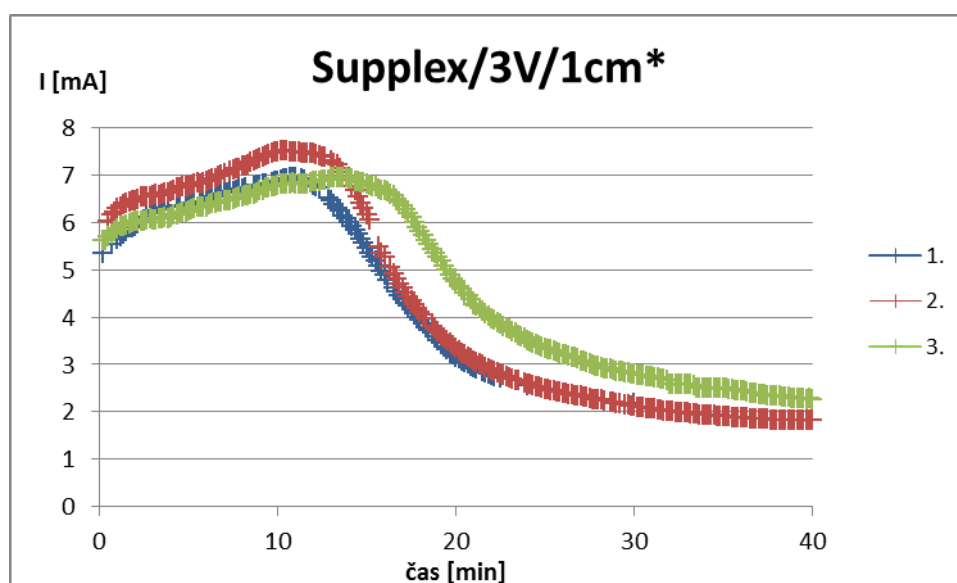
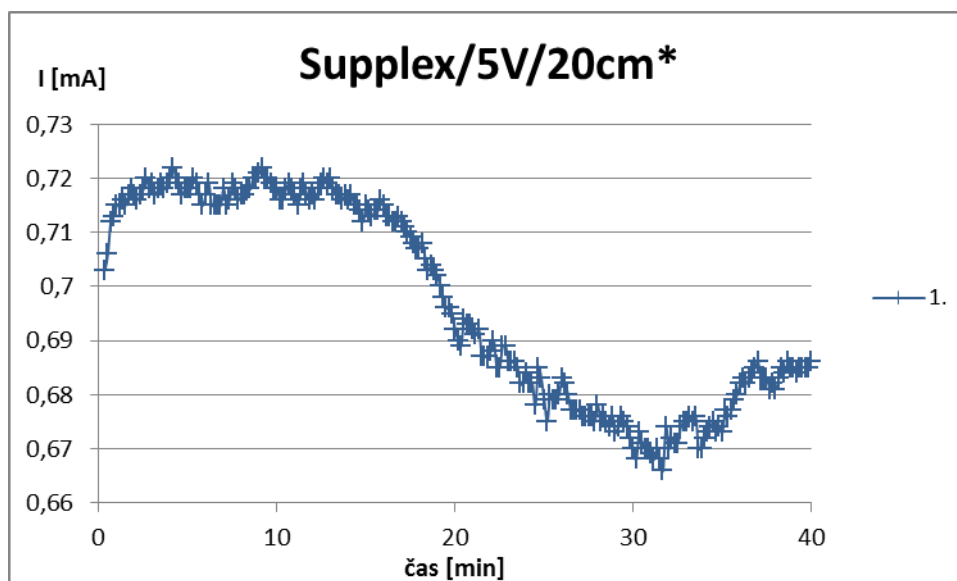
- normálové meradlo
- meranie True RMS AC napätí do 300 kHz
- meranie True RMS AC prúdov do 10 kHz
- štandardné rozhrania LAN, USB, GPIB
- základná presnosť 0,0015%
- 6 1/2 digit rozlíšenie displeja
- 10 000 načítaní/s pri rozlíšení $5\frac{1}{2}$ miesta s prenosom do PC
- 1 000 načítaní/s pri rozlíšení $4\frac{1}{2}$ miesta s prenosom do PC
- 30 ppm základná presnosť / rok
- kompatibilné LXI - trieda C
- meranie kapacity a teploty
- meranie frekvencie
- test diód
- spojitost' obvodu
- vnútorná pamäť - 50 000 hodnôt
- Kelvinove pripojenie
- matematické funkcie
- software pre merací systém

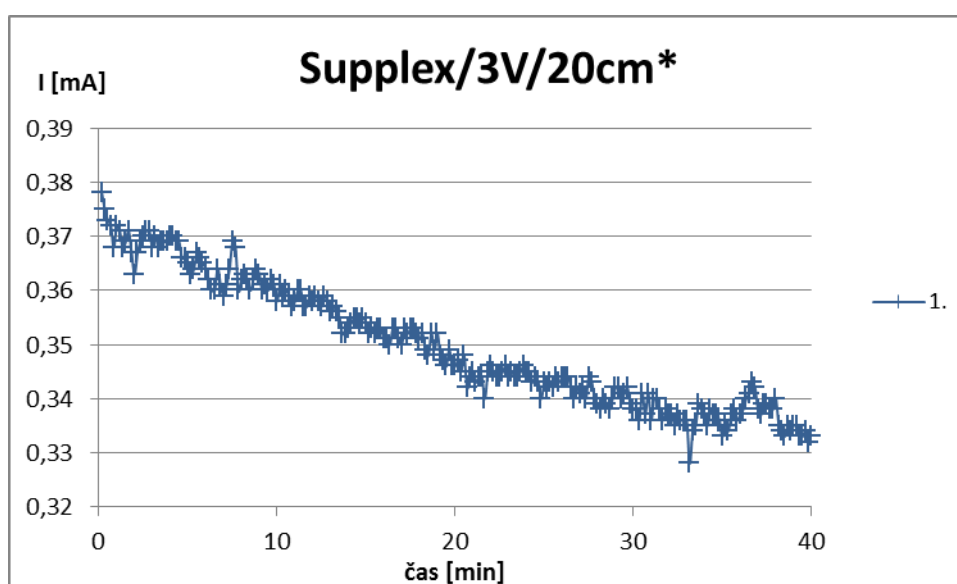
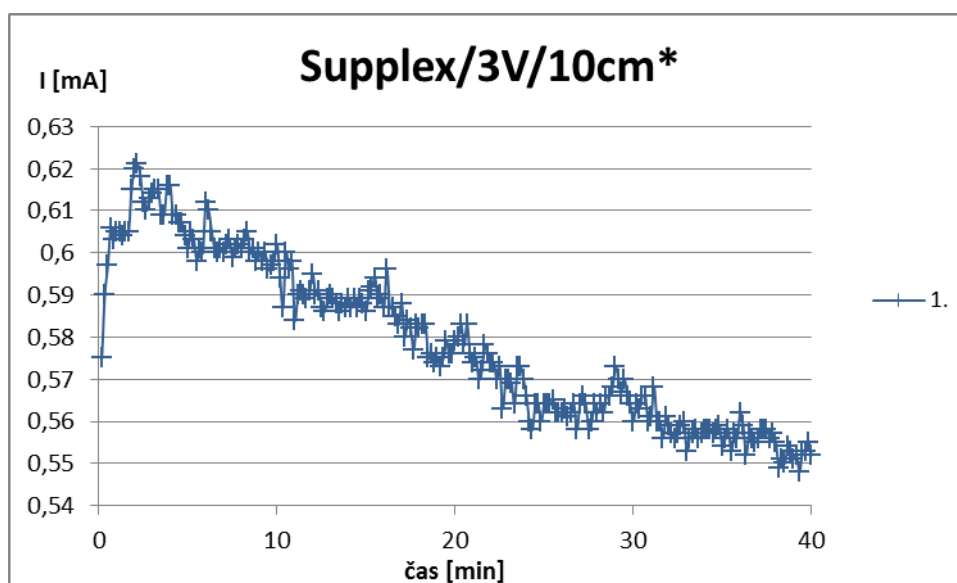
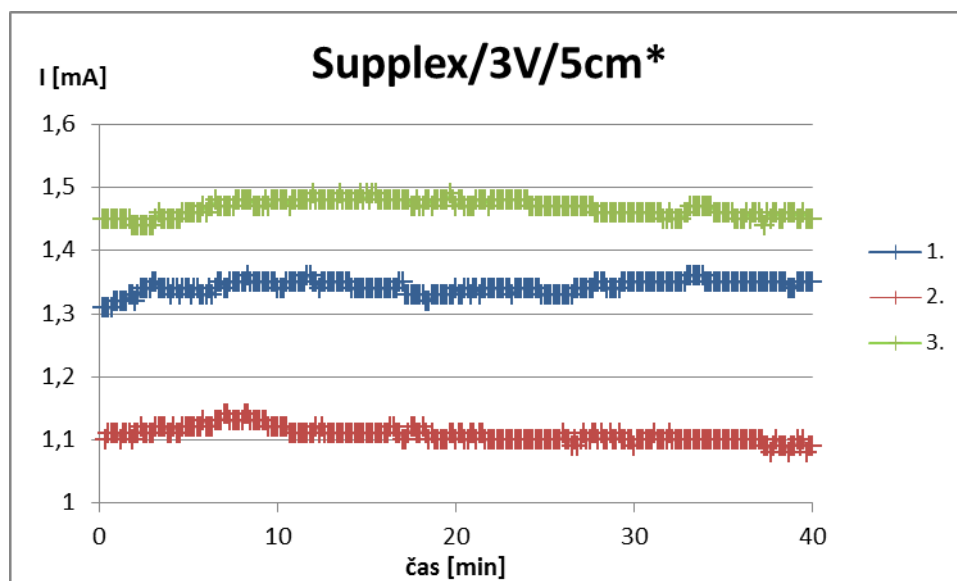
Zdroj jednosmerného napätia Agilent

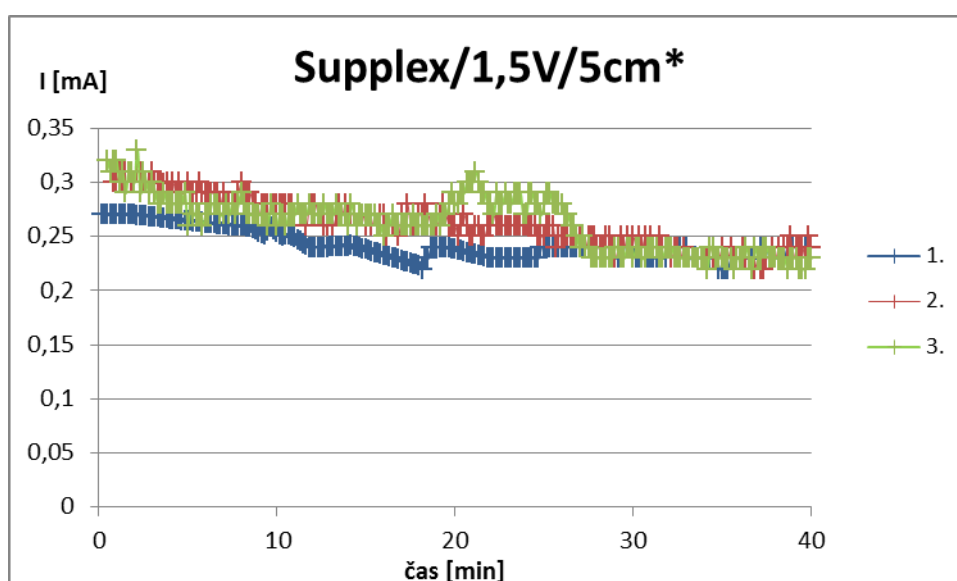
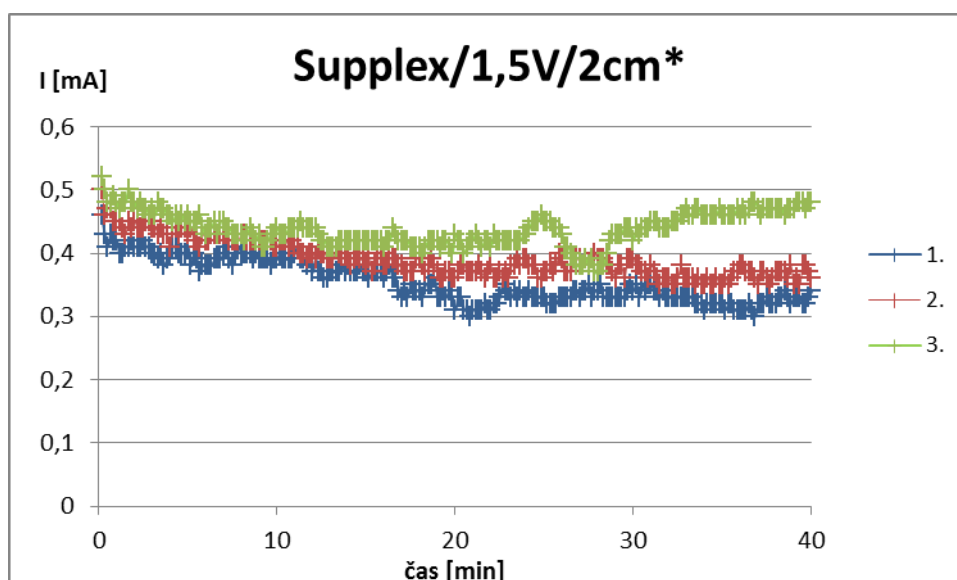
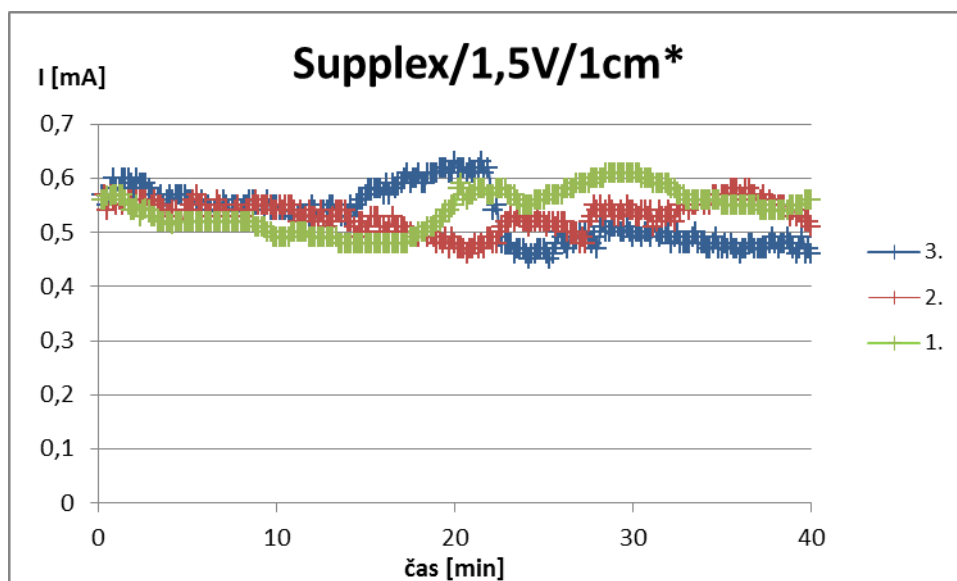


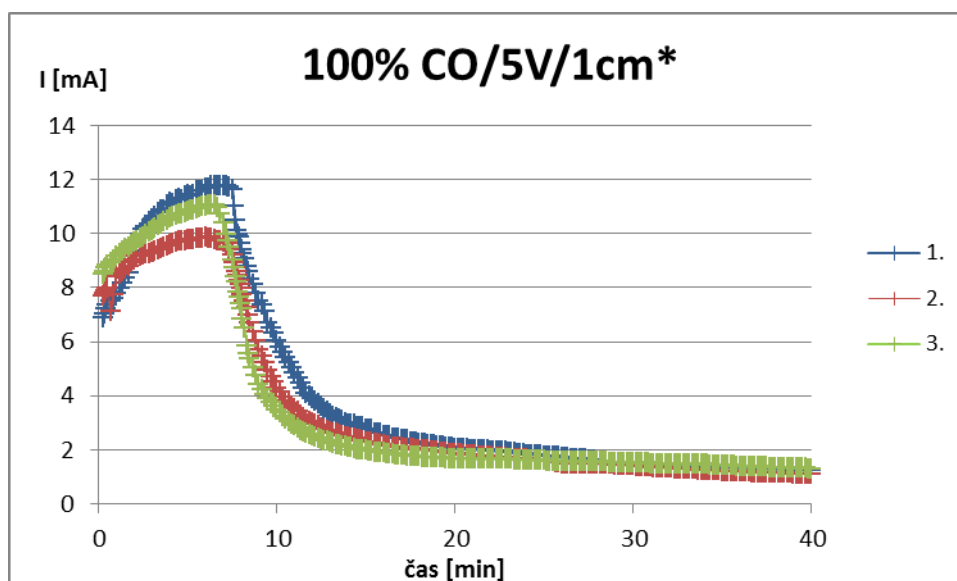
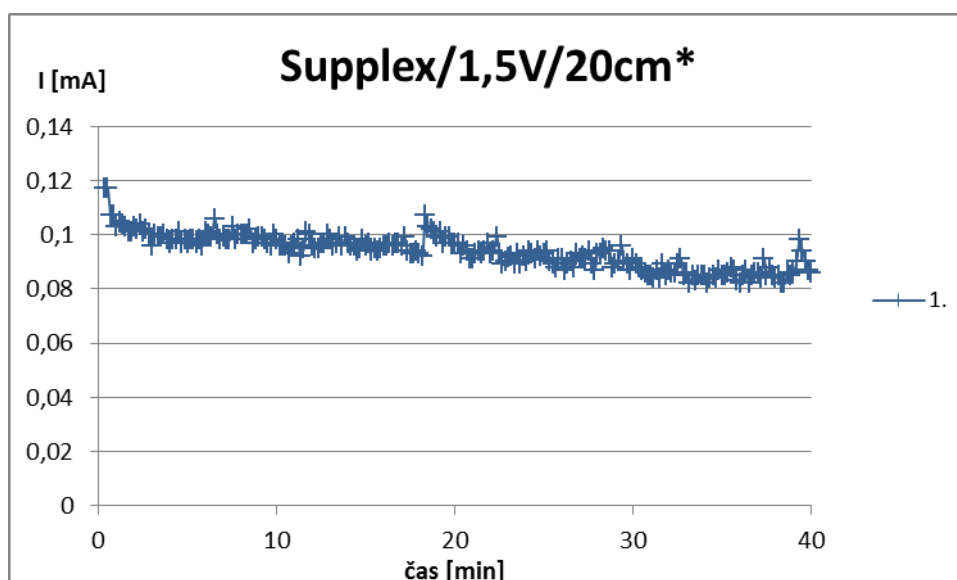
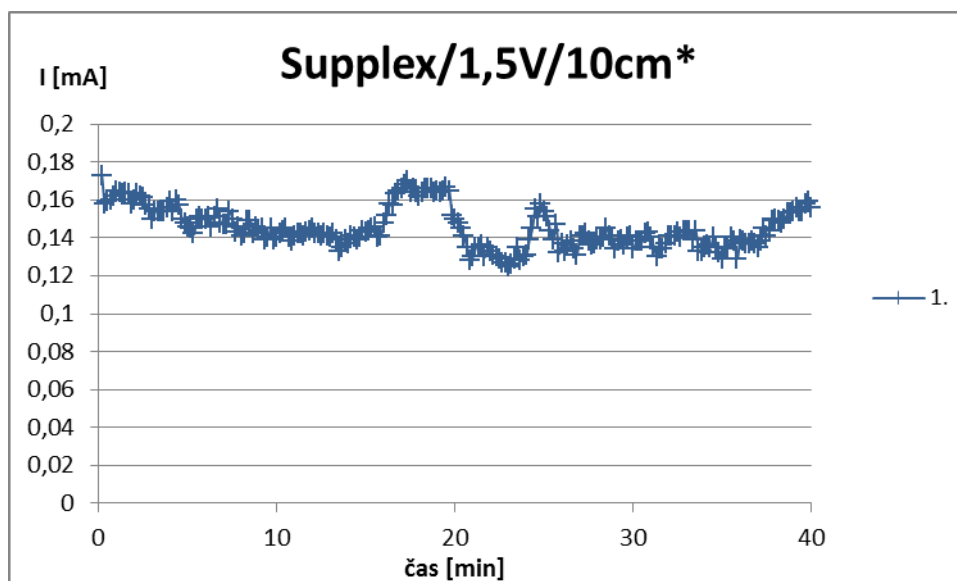
PRÍLOHA č.2

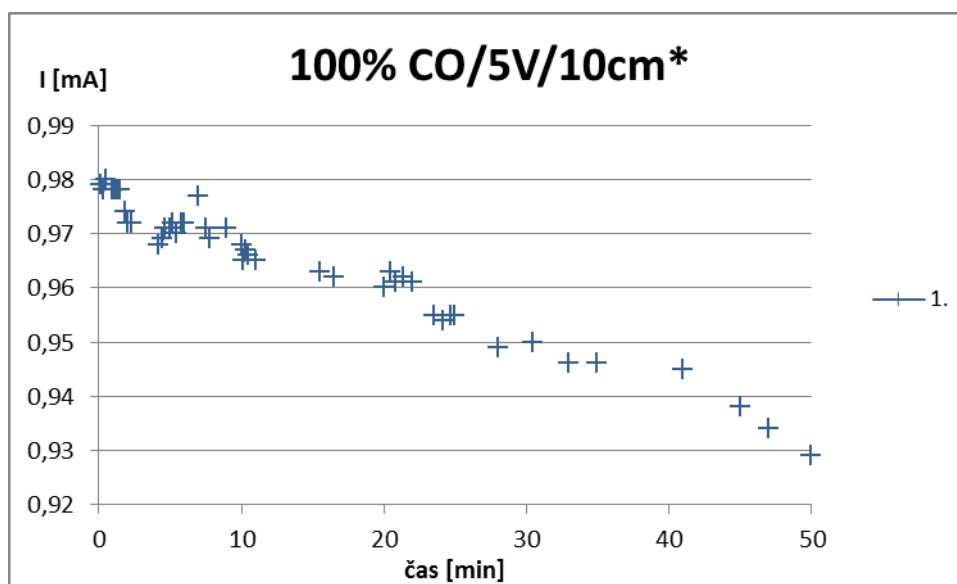
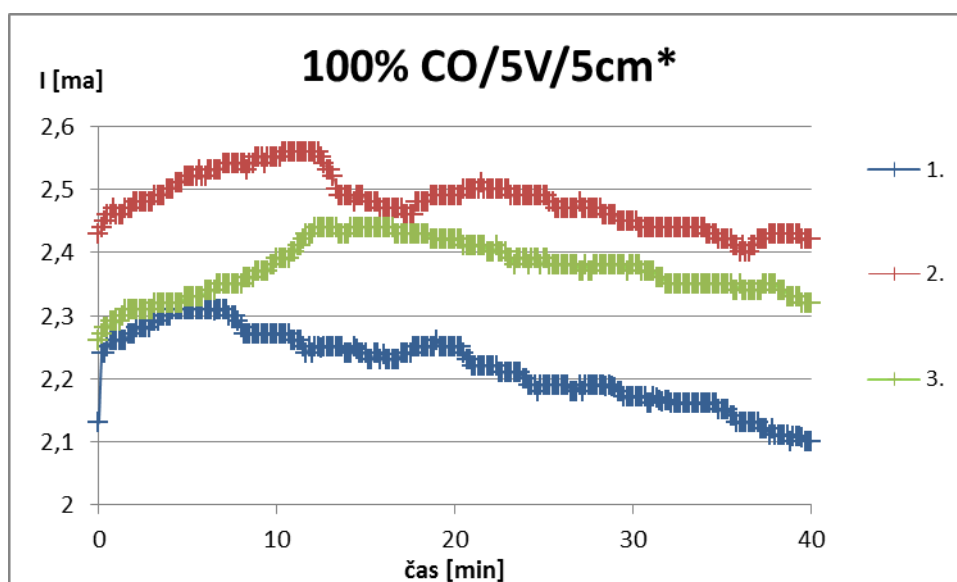
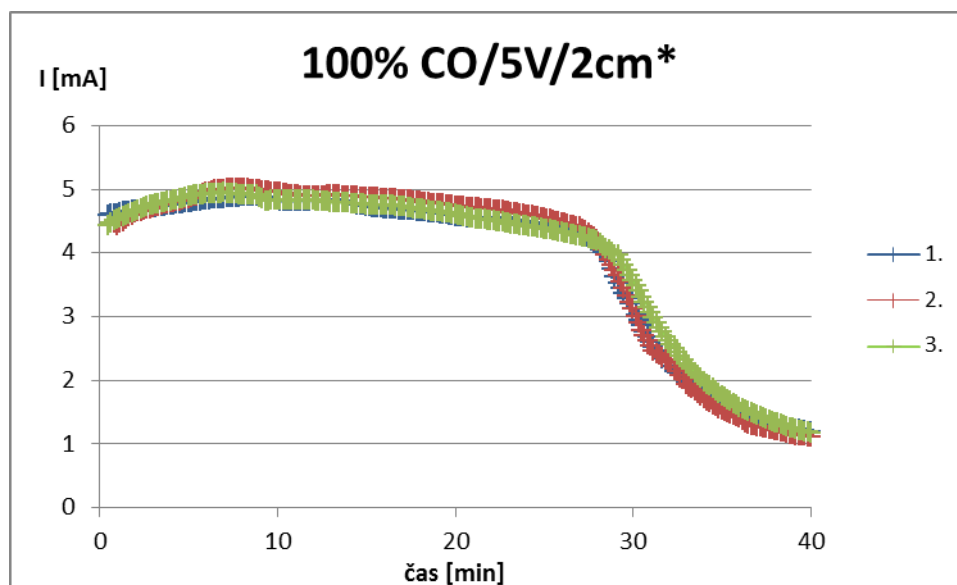


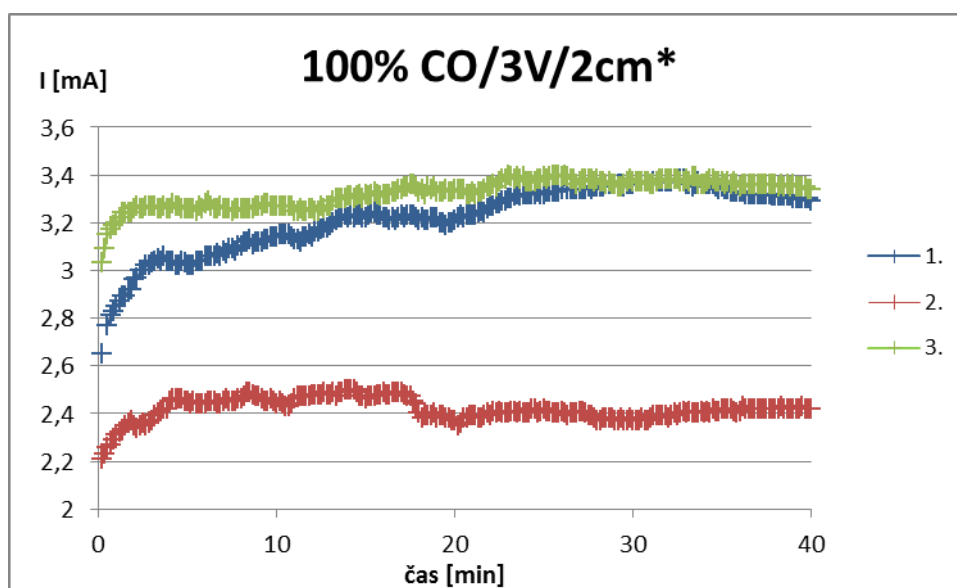
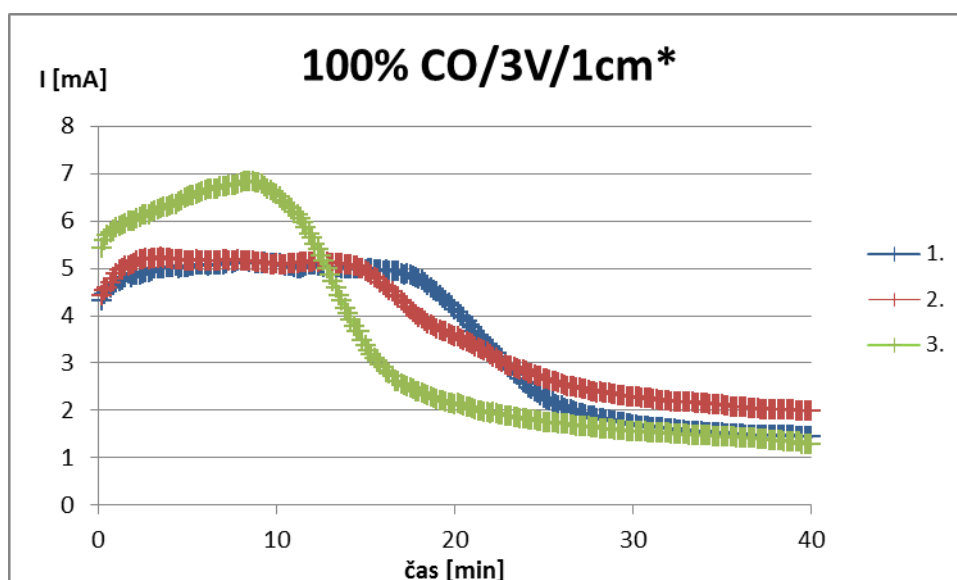
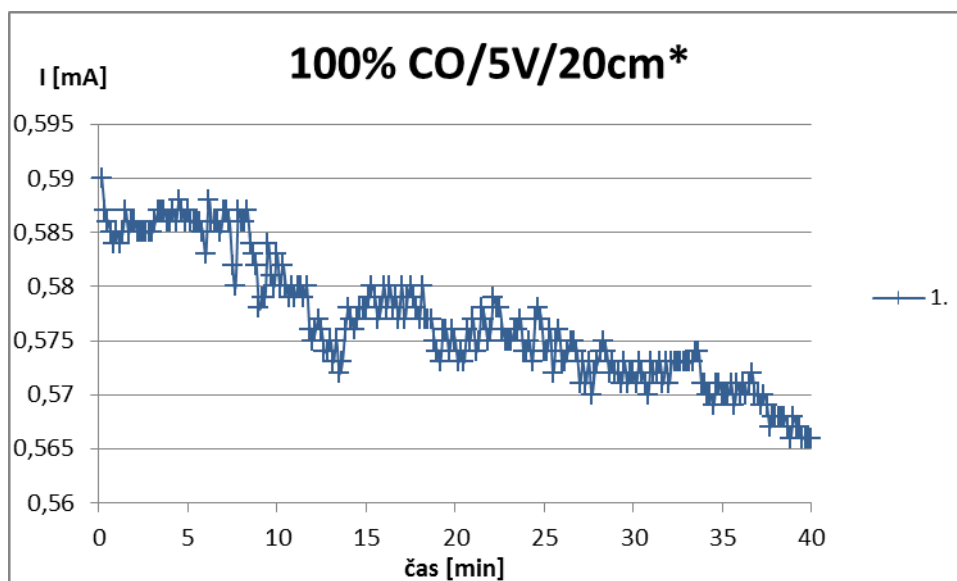


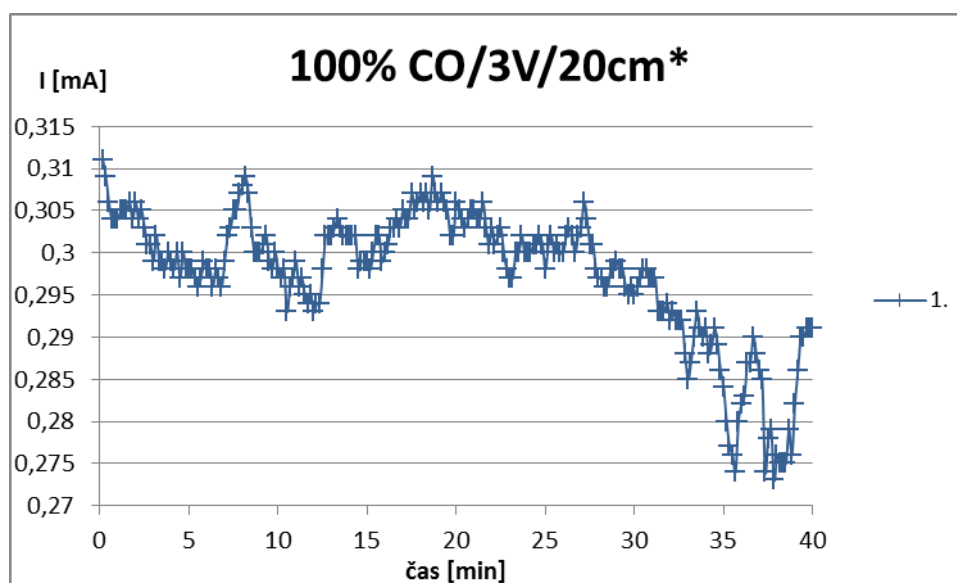
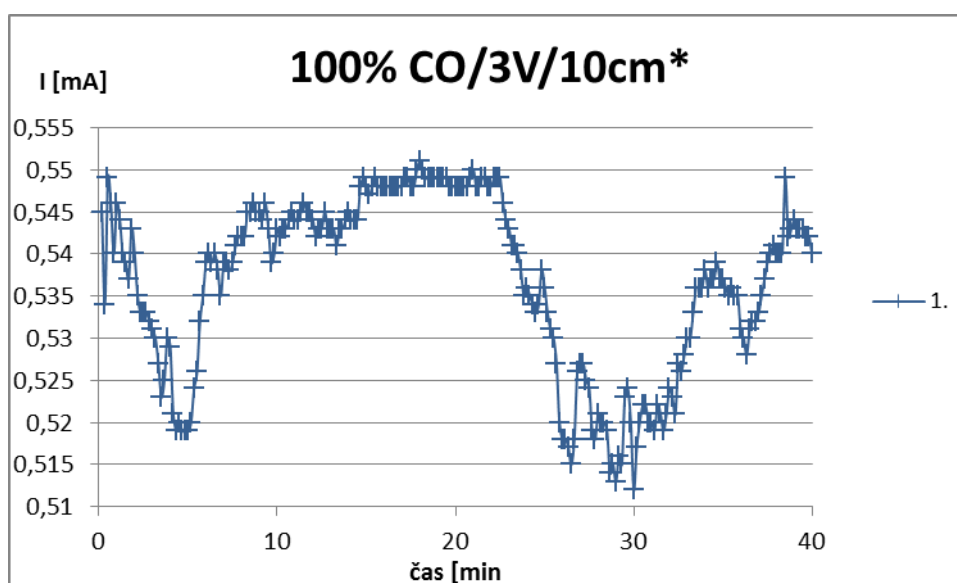
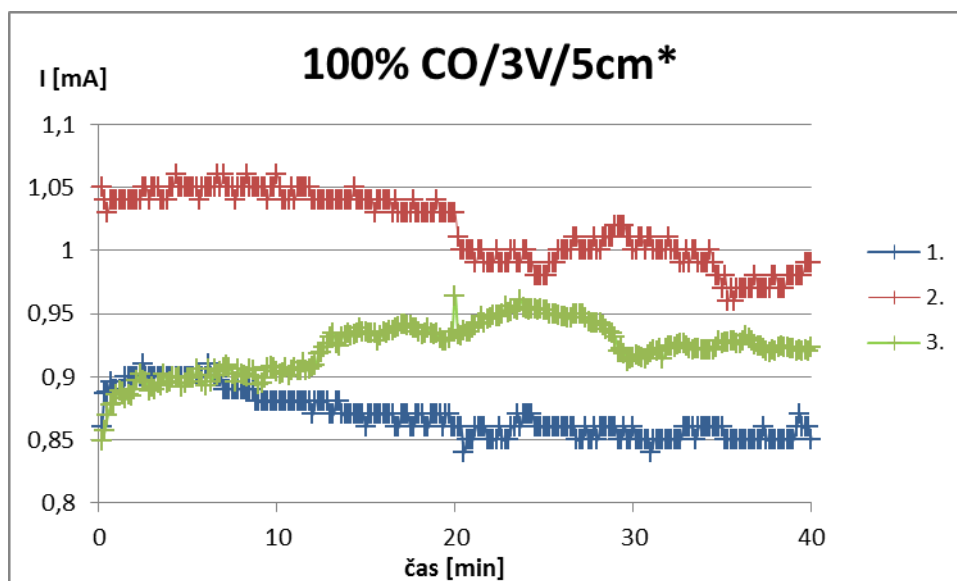


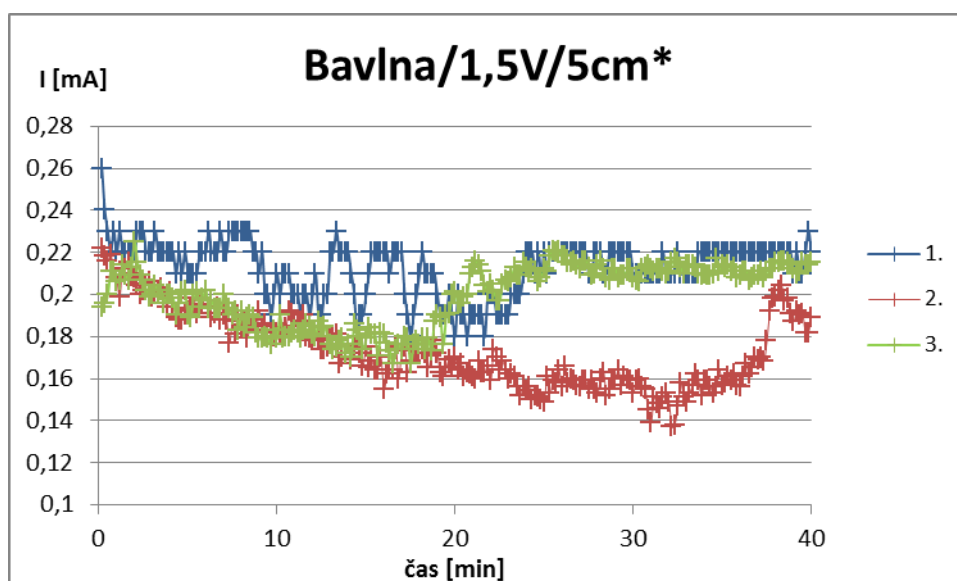
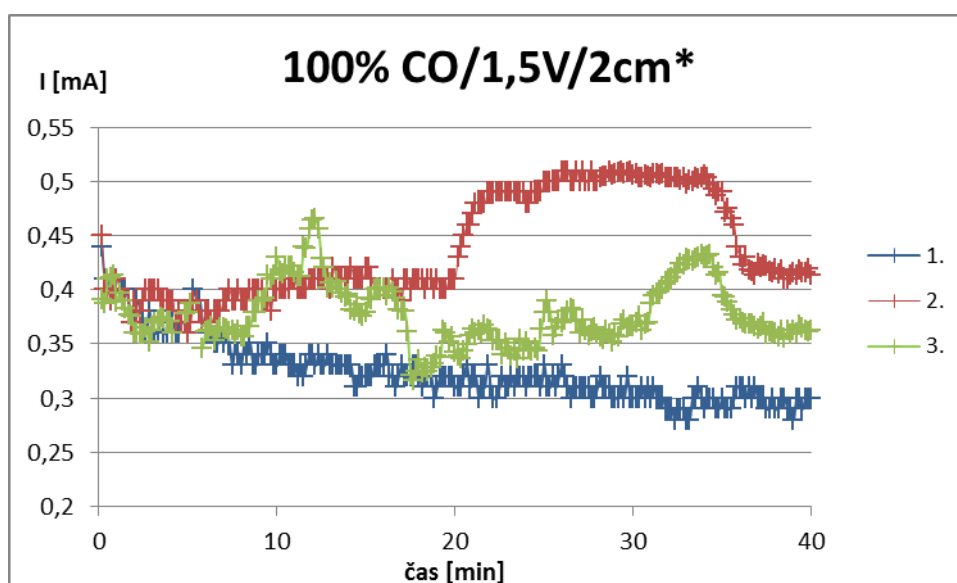
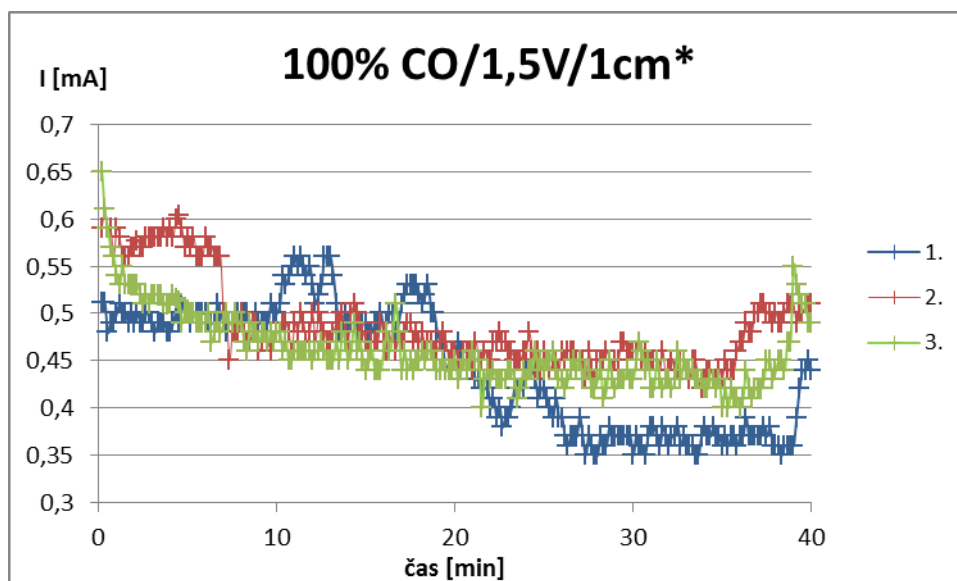


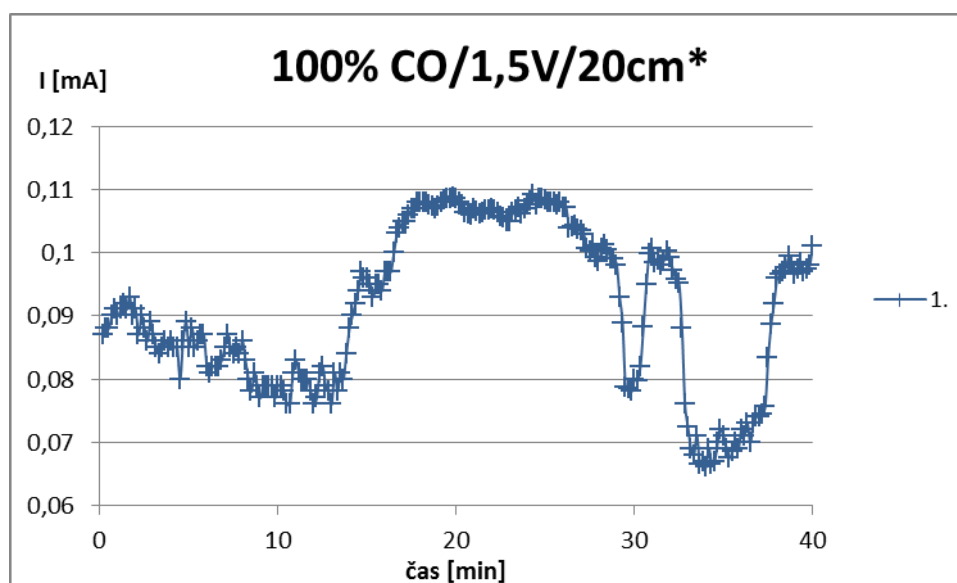
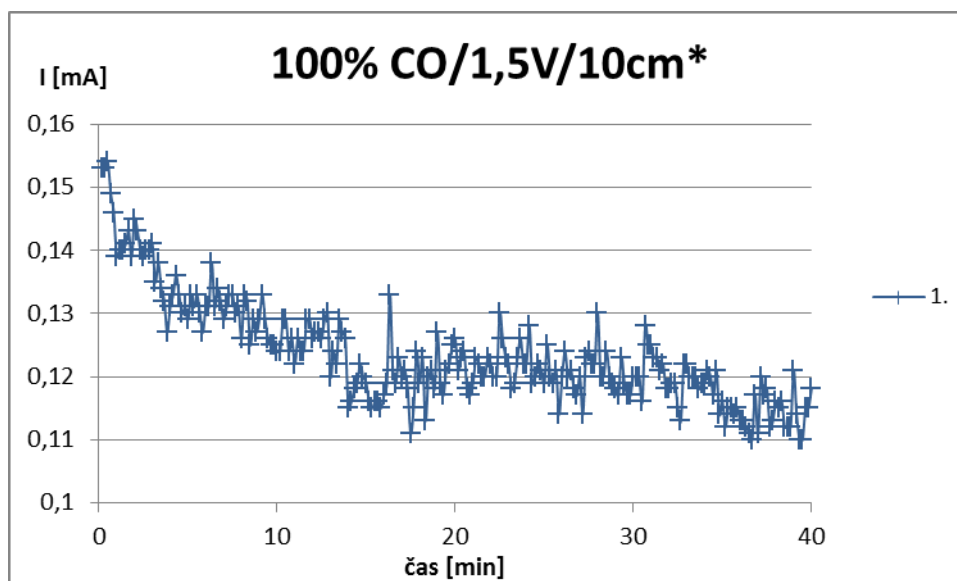












PRÍLOHA č. 3

Elektrický odpor nití po skúške v pote na materiály Supplex

[Ω]	po napätí 5V				po napätí 3V				po napätí 1,5V			
1 cm	1.	26,3	\bar{x}	16,8	1.	14,0	\bar{x}	24,7	1.	4,8	\bar{x}	3,9
	2.	10,0	s	8,5	2.	20,0	s	13,6	2.	3,9	s	0,9
	3.	14,2	ν	50,2%	3.	40,0	ν	55,2%	3.	3,0	ν	22,7%
2 cm	1.	25,2	\bar{x}	25,1	1.	11,0	\bar{x}	11,3	1.	2,6	\bar{x}	2,6
	2.	25,0	s	0,1	2.	11,0	s	0,6	2.	2,4	s	0,2
	3.	x	ν	0,6%	3.	12,0	ν	5,1%	3.	2,8	ν	7,9%
5 cm	1.	6,4	\bar{x}	10,5	1.	4,7	\bar{x}	5,4	1.	2,3	\bar{x}	2,5
	2.	5,0	s	8,3	2.	4,2	s	1,7	2.	2,8	s	0,3
	3.	20,0	ν	79,2%	3.	7,3	ν	30,8%	3.	2,4	ν	10,7%
10 cm	1.	5,0			1.	2,6			1.	2,3		
20 cm	1.	2,8			1.	2,5			1.	2,3		

Elektrický odpor nití po skúške v pote na materiály zo 100 % bavlny

[Ω]	po napätí 5V				po napätí 3V				po napätí 1,5V			
1 cm	1.	7,3	\bar{x}	7,5	1.	11,0	\bar{x}	7,9	1.	2,6	\bar{x}	2,9
	2.	5,2	s	2,4	2.	8,6	s	3,5	2.	3,2	s	0,3
	3.	9,9	ν	31,5%	3.	4,2	ν	43,7%	3.	3,1	ν	10,5%
2 cm	1.	4,7	\bar{x}	6,9	1.	10,5	\bar{x}	11,1	1.	2,6	\bar{x}	2,5
	2.	11,7	s	4,2	2.	4,8	s	6,6	2.	2,8	s	0,3
	3.	4,2	ν	61,1%	3.	18,0	ν	59,6%	3.	2,3	ν	10,4%
5 cm	1.	x	\bar{x}	7,6	1.	2,9	\bar{x}	3,3	1.	2,4	\bar{x}	2,3
	2.	9,3	s	2,5	2.	3,9	s	0,5	2.	2,4	s	0,1
	3.	5,8	ν	32,8%	3.	3,1	ν	15,4%	3.	2,2	ν	4,1%
10 cm	1.	3,7			1.	2,7			1.	2,5		
20 cm	1.	3,3			1.	2,8			1.	2,3		

